

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VARIANTNÍ ŘEŠENÍ DÁLNIČNÍHO NADJEZDU S OHLEDEM NA UŽITOU TECHNOLOGII VÝSTAVBY

**ALTERNATE DESIGN OF A HIGHWAY OVERBRIDGE WITH
VARYING CONSTRUCTION SEQUENCE**

Vypracovala: Anna Hrubá

Vedoucí práce: doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Praha 2019/2020

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá technologií výstavby silničního nadjezdu pomocí pevné skruže. Návrhy a statickými posouzeními jsou porovnány varianty přestavné skruže a varianty celé skruže s ohledem na návrh a vedení předpjatých kabelů v konstrukci.

Klíčová slova

Most, předpětí, předpjatý beton, spojitý nosník, betonový most, trémový most, vyrovnání zatížení, pevná skruž, postupná výstavba, TDA

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on technology of construction road flower with assistance of solid falsework. The variants of reconstructed falsework and variant of whole falsework are compared by project and static analysis with respect at design and conduction of pressed cables in the construction.

Keywords

Bridge, prestressing, prestressed concrete, continuous beam, concrete bridge, girder construction, load balancing, solid falsework, gradual construction, TDA



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hrubá

Jméno: Anna

Osobní číslo: 458985

Zadávající katedra: K133-Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: SI- Stavební inženýrství

Studijní obor: K- Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Variantní řešení dálničního nadjezdu s ohledem na užitou technologii výstavby

Název bakalářské práce anglicky: Alternate design of a highway overbridge with varying construction sequence

Pokyny pro vypracování:

Součástí řešení bude:

- rešerše na téma technologii výstavby předpjatých mostů středních rozpětí s důrazem na možné technologie výstavby a jejich dopad na vedení předpínací výztuže
- zpracování variantního komentovaného statického výpočtu mostu s ohledem na užitou technologii výstavby
- detailní posouzení hlavních konstrukčních prvků výsledné varianty řešení

Seznam doporučené literatury:

Stráský, J. (2001) Betonové mosty, ŠEL, Knižnice autorizovaného inženýra a technika, TK21, s.103

Navrátil, J. (2004) Předpjaté betonové konstrukce, Akademické nakladatelství CERM, s.160

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 2/10/2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 5/1/2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracovala samostatně a veškeré použité podklady jsem uvedla v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Poděkování

Zde chci velmi poděkovat mému vedoucímu práce, panu Doc. Ing. Marku Foglarovi, Ph.D., za nesmírnou trpělivost, ochotu, motivaci, odborné vedení, cenné rady a čas, které mi poskytnul.

V Praze dne

.....

1 Obsah

ABSTRAKT	2
Klíčová slova	2
ABSTRACT	3
Keywords	3
2 REŠERŠE	11
2.1 Úvod do historie předpjatého betonu v mostním stavitelství	11
2.2 Prefabrikované předpínané mosty	13
2.3 Monolitické konstrukce	16
2.3.1 Betonování na pevných skružích.....	16
2.3.2 Posuvná skruž.....	20
3 ÚVOD	22
4 GEOMETRIE KONSTRUKCE.....	23
4.1 Průřez a jeho charakteristiky	25
4.1.1 Výpočet spolupůsobící šířky	25
5 MATERIÁLY	30
5.1 Beton.....	30
5.2 Betonářská výztuž.....	30
5.3 Předpínací výztuž	30
6 ZATÍŽENÍ	32
6.1 Stálé	32
6.1.1 Vlastní tíha	32
6.1.2 Ostatní stálé	32
6.1.3 Pokles podpor.....	33
6.2 Proměnné zatížení.....	33
6.2.1 Zatížení dopravou.....	33
6.2.2 Zatížení teplotou.....	35

6.3	Přehled normálového napětí od zatížení.....	35
7	KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO MSP	38
8	PŘEDPĚTÍ.....	39
8.1	Předběžný návrh předpětí	39
8.1.1	Metoda vyrovnání zatížení	39
9	VARIANTA 1: PEVNÁ SKRUŽ SITUOVANÁ NA CELÉ DÉLCE KONSTRUKCE .	42
9.1	Model konstrukce	42
9.2	Sledování konstrukce.....	45
9.3	Chování konstrukce s navrhovaným předpětím	46
9.3.1	Návrh 1	46
9.3.2	Návrh 2.....	50
9.3.3	Návrh 3.....	51
9.3.4	Návrh 4.....	58
9.3.5	Návrh 5.....	60
9.4	Posouzení MSP.....	63
9.4.1	Posouzení konstrukce MSP – výstavba.....	63
9.4.2	Posouzení konstrukce MSP – uvedení do provozu	64
9.4.3	Posouzení konstrukce MSP – konec životnosti.....	66
10	VARIANTA II: PEVNÁ SKRUŽ PŘESTAVOVANÁ PO POLÍCH KCE	69
10.1	Model konstrukce	69
10.2	Sledování konstrukce.....	71
10.3	Chování konstrukce s navrhovaným předpětím	72
10.3.1	Návrh 1	72
10.3.2	Návrh 2.....	76
10.3.3	Návrh 3.....	78
10.3.4	Návrh 4.....	81
10.3.5	Návrh 5.....	84

10.4	Posouzení MSP	87
10.4.1	Posouzení konstrukce MSP – výstavba.....	87
10.4.2	Posouzení konstrukce MSP – uvedení do provozu	87
10.4.3	Posouzení konstrukce MSP – konec životnosti.....	90
11	VARIANTA III: KONSTRUKCE PŘEDPÍNANÁ PO DVOU ČÁSTECH.....	93
11.1	Model konstrukce	93
11.2	Sledování konstrukce.....	94
11.3	Chování konstrukce s navrhovaným předpětím	94
11.3.1	Návrh 1	94
11.3.2	Návrh 2.....	96
11.3.3	Návrh 3.....	99
11.4	Posouzení MSP	100
11.4.1	Posouzení konstrukce MSP – výstavba.....	100
11.4.2	Posouzení konstrukce MSP – uvedení do provozu	101
11.4.3	Posouzení konstrukce MSP – konec životnosti.....	104
12	ZÁVĚR.....	107
13	ZDROJE	110
	Zdroje obrázků	110
	Internetové zdroje	111
	Použitá literatura	111
	Normy a předpisy.....	112
	Mapy a ostatní zdroje.....	112
14	Seznam obrázků	113
15	Seznam tabulek	121
16	Přílohy	122

2 REŠERŠE

Téma: Technologie výstavby předpjatých mostů středních rozpětí s důrazem na možné technologie výstavby a jejich dopad na vedení předpínací výztuže

Hlavní náplní naší práce bude návrh předpětí pro spojitý nosník o pěti polích, jejichž rozpětí odpovídají mostům středních rozpětí. Pod přesnější definicí „střední rozpětí“ si představujeme pole délek od 10 do 60 m. Než se zaměříme na tuto problematiku, připomeňme si hlavní přínos předpjatého betonu.

„Technologie předpjatého betonu vhodným uspořádáním a napnutím předpínací výztuže umožňuje přerozdělit deformační a statické účinky tak, abychom dostali optimální stav napjatosti, který nám umožní využít charakteristické vlastnosti betonu.“ [6]

„Předpjatý beton představuje aktivní přístup k navrhování konstrukcí, změnu v myšlení i provádění a jeho zavedení způsobilo opravdu revoluci v betonovém stavitelství.“ [6]

„Architektonické a konstrukční řešení mostů mnohdy vychází z technologie jejich výstavby.“ [6]

2.1 Úvod do historie předpjatého betonu v mostním stavitelství

První výraznější myšlenkový rozvoj předpjatého betonu je spojen s francouzským inženýrem Eugenem Freyssinetem (pro zajímavost inspirací pro název společnosti předpínacího systému Freyssinet. CS, a.s.). Ten se touto problematikou nemálo zabýval už mezi lety 1905 – 1910. Kvůli však tehdejšímu dění ve světě a následným důsledkům první světové války definoval pojem *předpjatý beton* až v roce 1933. První předjatý trémový most se začal stavět v roce 1938. Byl ním most přes dálnici A2 u Oelde ve Vestfálsku a je, mimochodem, stále v provozu. Konstrukce o jednom poli s rozpětím 33 m byla postavena ze čtyř prefabrikovaných nosníků tvaru I a výšky 1,6 m. S železobetonovou mostovkou je tak celková výška konstrukce 1,87 m.



Obrázek 1 R: První trémový most Hesseler Weg, 1938, Vestfálsko – detail předpjatých nosníků, [2]



Obrázek 2 R: První trémový most Hesseler Weg, 1938, Vestfálsko – dnes [3]

Počátky předpjatých mostů v českých zemích se datují ve 40. letech 20. století. Přesněji v roce 1947, kdy byl takový most postaven na dálnici u Humpolce. Tvořilo ho jedno pole délky 13,8 m. Bylo na něj použito 10 podélných prefabrikovaných (předpjatých) nosníků výšky 0,75 m, na které byla vybetonována železobetonová deska tloušťky 0,16 m. Celková šířka konstrukce byla 22 m! Je třeba vyzdvihnout jména s touto konstrukcí spojená, a to Dr. Pacholík, Ing. Otta a prof. Loskot. Ačkoliv realizace stavby a výroba prvků byla na tehdejší poměry naprosto výborně zvládnutá, most se kvůli změně projektu dálnice provozu nedočkal a byl tak poději zbourán.

Nicméně to u nás nebránilo realizaci dalších předpjatých mostů, především sestavovaných z T-nosníků, které bývaly spojovány příčným předpětím v horní desce a v příčných ztužidlech. Zmínila bych ráda ještě rekonstrukci Negrelliho viaduktu v roce 1951, kdy se poprvé využil

předpjatý beton na železničním mostě u nás. Zde byly použity taktéž prefabrikované nosníky tvaru T, avšak délek 22,5 až 25 m. Pod každou ze čtyř kolejí jich bylo umístěno pět až šest. Za zmínění jistě stojí i fakt, že se jednalo o jednu z prvních konstrukcí u dodatečně předpjatého betonu.



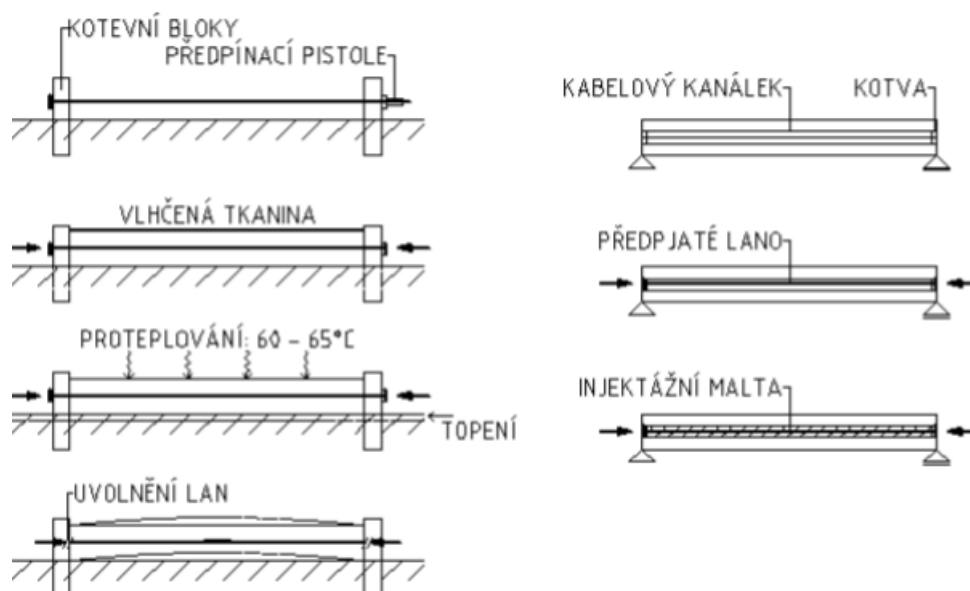
Obrázek 3 Negrelliho viadukt - nosník před předepnutím, vedle něho autor projektu Ing. Pavel Svoboda (vpravo)[1]

Dovoz a montáž prefabrikovaných konstrukcí byla před cca 70 lety značně náročnější než dnes, v době všemožných strojů, velkoúnosných jěrábů, úrovně informační technologie, a to nemluvě o samotné výrobě dílců. Princip je však podobný, a proto bych nyní ráda přešla do současné doby v technologii tohoto typu konstrukcí.

2.2 Prefabrikované předpínané mosty

Prefabrikované konstrukce se dnes používají běžně jako předpjaté předem nebo dodatečně. Výhodami předem předpjatých konstrukcí jsou především vyšší ochrana předpínací výztuže, menší pracnost pak na samotné stavbě. Mezi jejich velké nevýhody se řadí samotné omezení ve vedení předpínací výztuže a komplikace dopravy, neboť se musí zajistit dovoz celých dílů. Předem předpjaté konstrukce jsou vždy v soudržnosti s betonem, neboť ve výrobních dochází nejdříve k předepnutí výztuže, pak až následné betonáži prvku a teprve po požadovaném ztuhnutí betonu se uvolní kotvení výztuže, čímž se vnese do konstrukce předpětí. V případě dodatečně předpjatých prefabrikátů je princip technologie výstavby podobný s monolitickým typem konstrukcí. Ve výrobních se kabely v dílcích předepínají až po vybetonování a ztuhnutí betonu. Předepnutí je částečné, zbylé kabely v prefabrikátu se napnou až na stavbě po spojení dílů do konstrukce. Dílec může být také na stavbu dovezen zcela bez předpětí a to pak kompletně provést při montáži konstrukce.

Výrobní dílce mohou být podélné nebo příčné. Podélné prvky jsou vhodné pro rozpětí mostů do 30 m a bývají vyráběné přednostně na dlouhé dráze. Oproti tomu na krátké dráze se vyrábějí příčně dělené prvky s délkou od 2 do 4 m. V současné době se navrhuje nejčastěji otevřené průřezy u metody dlouhé dráhy, komorové či plně trémové průřezy u metody krátké dráhy.



Obrázek 4 Porovnání výroby předem (vlevo) a dodatečně předpjatého prefabrikovaného dílce[7]

Zcela zásadně záleží, na jaké konstrukci a jakým způsobem jsou takové prefabrikáty uloženy, spojeny a případně dodatečně předepnuty. Způsobů je několik, ne všechny používané jsou vhodné, ne všechny vhodné jsou používané.

V dostupných zdrojích mě zaujaly volby statického schématu u spojitých konstrukcích menších a středních rozpětí z předem předpjatých podélných nosníků. Jednotlivé prefabrikované nosníky, předpjaté jako prosté nosníky, mohou tvořit i po uložení na podpory budoucí konstrukce sestavu prostých nosníků pro všechna zatížení. Spoje nosníků bývají v tomto případě například spráženou deskou či v místě nadpodporových spár jsou spojeny betonářskou výztuží.

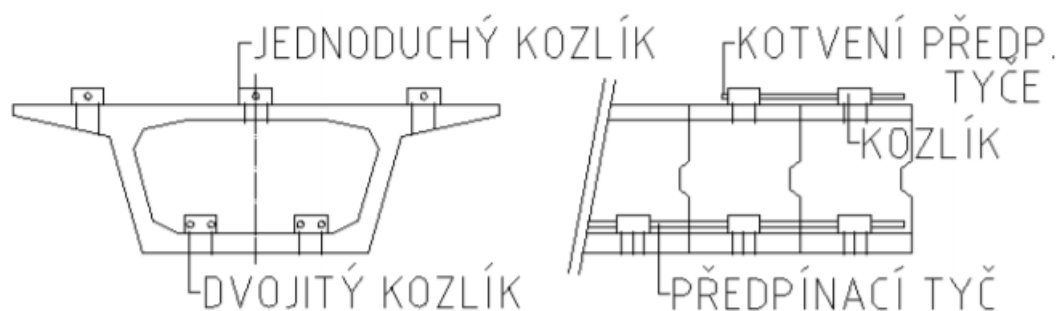
V závislosti na stupni předepnutí prefabrikátů (monolitů samozřejmě také) mohou nastat tři různé případy. Momentové účinky od předpětí mohou zcela vyrovnat účinky od vlastní tíhy nosníku. Nosník se tak nachází ve stavu nulového namáhání. To způsobí, že během dotvarování betonu už nedochází k přerozdělování sil. Takto předpjaté prefabrikáty mají své výhody. Například při jejich následném kombinování není třeba se ohlížet na stáří prvků. Uložíme-li pak nosníky za sebou na jednotlivé podpory spojitě konstrukce, musíme promyslet jejich propojení. V případě spojení pomocí předpínacích kabelů je třeba být citlivý a opatrný vůči možným tahovým napětím v dolních vláknech u podpor. Kvůli eliminaci napětí od vlastní tíhy

tak v konstrukci sice nevznikají žádné tahy, nicméně nejsou přítomny ani tlakové rezervy. Pokud hrozí velké tahy od předpětí, je proto nutné snížit excentricitu kabelů. V případě menších tahů postačí zachytit betonářskou výztuží.

Prefabrikované konstrukce s menším předpětím vůči vlastní tíze bývají většinou dodatečně předpínány na stavbě a společně tak s předpětím dávají vznik spojitě konstrukce.

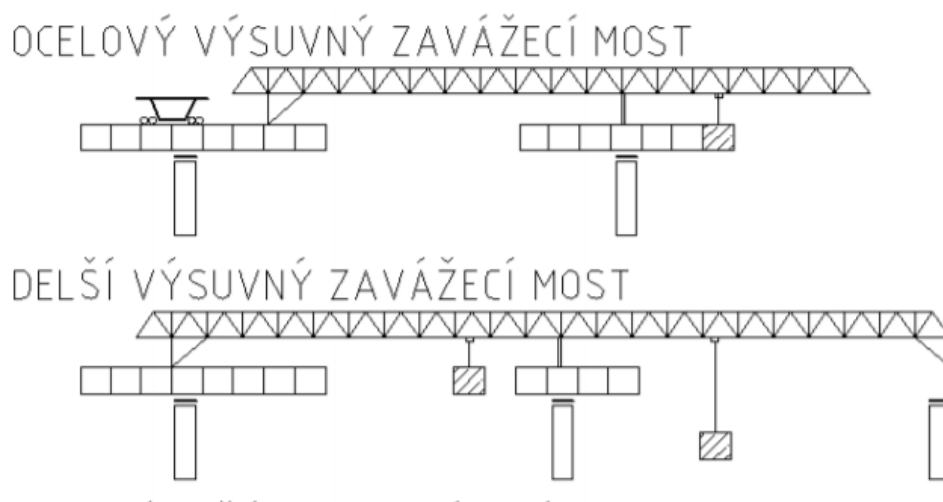
Prefabrikované konstrukce bývají stavěné všemožnými způsoby. Velmi obvyklé jsou pro středně dlouhé mosty montáže na skružích, montáže letmo.

Nejčastějším způsobem pro mosty středních rozpětí je montáž letmo na obě strany pilíře. Princip výstavby spočívá ve vybudování zárodku, ke kterému jsou pak po obou stranách symetricky napojovány segmenty. Střed konstrukce se dobetonuje. Propojení všech prvků je způsobeno jejich společným předepnutím. *Běžně se používají předpínací tyče kotvené do stoliček (tzv. kozlíků) umístěných ve vrchní i spodní části desky segmentu*



Obrázek 5 R: Montáž letmo, použití předpínací tyče [7]

S ohledem na použití techniky lze letmou montáž rozdělit na dva typy. Montáž s kratším závěsacím mostem a montáž s delším závěsacím mostem. První typ představuje délku závěsacího mostu v 1,5 násobku největšího pole konstrukce. Druhý typ více jak v dvojnásobku délky největšího pole, neboť je uložen na třech svých nohách nad pilíři budované konstrukce.



Obrázek 6 R: Montáž letmo, délky zavážecích mostů [7]

2.3 Monolitické konstrukce

Monolitické konstrukce mostů středních rozpětí bývají, podobně jako prefabrikované konstrukce, betonované na skružích, avšak vyloučena není ani letmá betonáž či vysouvání.

Podstatou monolitických konstrukcí je stavba na místě. Předpínání, které následuje až po bednění, je prováděno v čase, kdy má beton potřebnou – přiměřenou- tuhost.

2.3.1 Betonování na pevných skružích

Principem pevné skruže je zajištění dočasné podpůrné konstrukce při bednění konstrukce stavěné. Tyto podpůrné konstrukce jsou tvořeny lehkými stojkami, popřípadě soustavou stojek a nosníků, která se může hodit v případech, kdy je nějaký problém s umístěním stojek pod bedněním.

Pevné skruže lze umístit po celé délce stavěné konstrukce nebo po jejích částech. Při volbě, jak skruž rozmístit, musíme zvážit celkovou dobu výstavby, dostupné množství podpůrných částí skruže, množství kotev a také statické schéma samotné konstrukce a s ním související množství předpínací výztuže. U jednopolových konstrukcí je volba jasná, u vícepolových je třeba se zamyslet.

Výhodou celé skruže je především čas, neboť čím méně taktů bednění, tím výraznější zkrácení doby výstavby. (Eliminují se časové intervaly pro čekání ztuhnutí betonu do požadovaných hodnot.) Dále velká *přizpůsobivost skruže vůči tvaru* konstrukce, obzvláště v případě použití lehkých stojek. Výrazným pozitivem může být také možnost *napínání konstrukce z obou jejích konců*, čímž se použitá předpínací výztuž efektivněji využije a eliminují se tak ztráty předpětí,

respektive jejich působení. Ty můžou hrát účincích předpětí velmi zásadní roli. Použití takto stavěné skruže je proto vhodné spíše pro mosty s nižším počtem polí (méně zakřivenosti=menší ztráty třením) a celkově kratší délkou mostu. (Na základě zkušeností se obecně doporučuje max. délka 100 m.)

Betonování a předepínání mostu po částech na pevné skruži je odlišné hned v několika bodech. Vezměme například pro ukázkou statické schéma (pouze poměry polí) našeho mostu, kterému se budeme později plně věnovat. Vykreslíme si průběh momentů od stálého zatížení. (Jde zase především o poměry hodnot.)

1D vnitřní sílyHodnoty: M_y

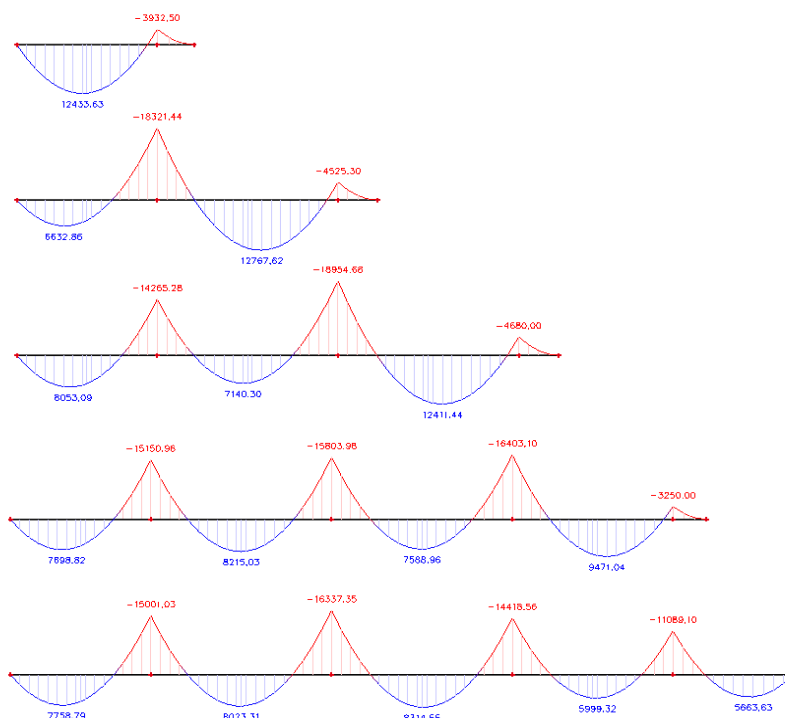
Lineární výpočet

Kombinace: Bb

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Obrázek 7 Schéma přerozdělování vnitřních sil od vlastní tíhy při postupně budované konstrukci

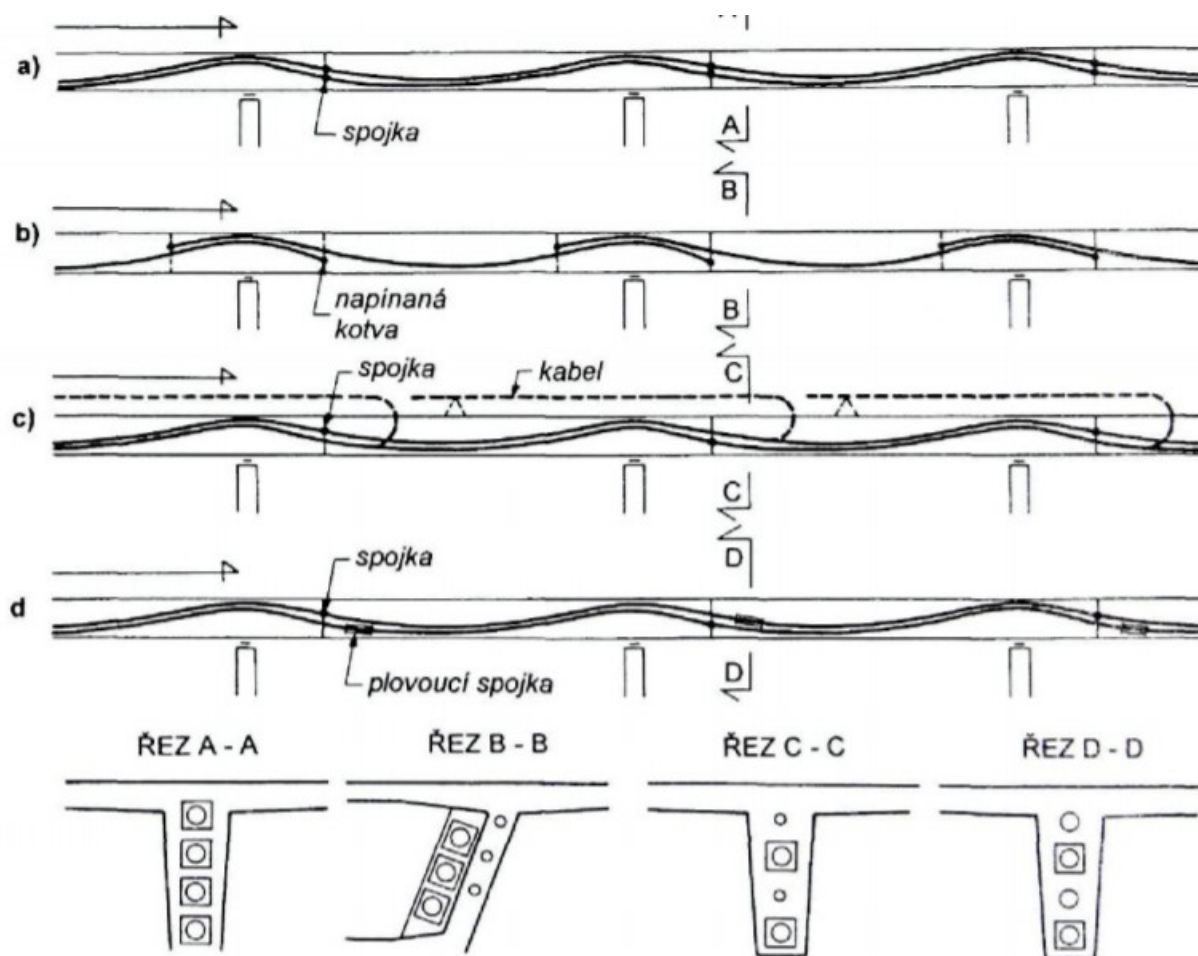
Na obrázku sledujeme průběh přerozdělování sil v postupně budované konstrukci, v tomto případě po polích s přečnívající konzolou. Spáry jsou zvoleny v místech nulových momentů od vlastní tíhy. Závěrečné vykreslení sil po dokončení je samozřejmě stejné jako u konstrukce betonované v celku, avšak v jednotlivých stavebních fázích jsou ohybové momenty značně odlišné. Při návrhu předpětí je tak třeba uvážit vývoj vnitřních sil během výstavby.

Důležité je vnímat i konstrukční zásady ohledně vedení předpínací výztuže. Ve spárách (průřezy, v nichž se spojují postupně betonované části) se v dnešní době smí napínat a spojovat maximálně polovina předpínací výztuže. V případě splnění několika podmínek navíc

(souvisejících s napjatostí mezi kotvou a spojkou, kde je vysoká pravděpodobnost vzniku tahů) je přípustné spojkovat až 2/3 vedených kabelů.

S ohledem na výše zmíněnou konstrukční zásadu je vhodné si uvědomit, že zatímco v prvních fázích betonování jsou části konstrukce (v polích) od vlastní tíhy namáhanější, než v dokončené fázi, účinky od předpětí s postupným betonováním naopak rostou.

Obrázek pod textem vykresluje vývoj napínání ve spárách. Dříve se v ní opravdu spojkovaly všechny kabely. Dnes se mimo jiné používají u průběžných – nenapínaných- kabelů plovoucí spojky. Díky nim je mnohem snazší manipulace s kabely na stavbě.



Obrázek 8 Vývoj vedení kabelů ve spáře [6]

Nutno je uvažovat i požadované minimální osové vzdálenosti kabelů ve spárách pro zajištění dostatečného místa na vložení kotvy a nastavení předpínací pistole. Kabely je z hlediska realizace stavby vhodné vést před i za spárou jako přímé. U spojovaných dokonce musí být kolem spáry dodržena minimální délka přímého úseku kabelu. Spojkované kabely je ve spáře vhodné umístit tak, aby byly po výšce průřezu rovnoměrně rozdělené. To vše svým způsobem

omezuje možnosti vedení kabelů, na druhou stranu častějším napínáním se doplňují ztráty předpínací síly.



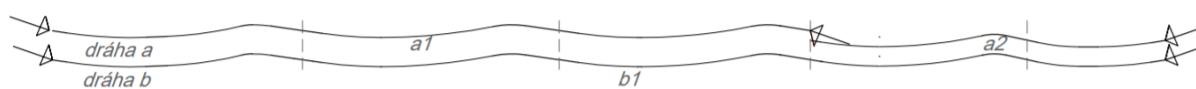
Obrázek 9 R: Příklad použití podpůrných stojek pevné skruže [4]

Oproti celé skruži dovoluje přestavná skruž použít i kabely vedené jen v částech konstrukce. S použitím mrtvé kotvy tak lze u mnoha spojitých konstrukcí vyrovnat větší účinky od zatížení v prostředních polích a přitom zbytečně nevnášet výztuž do krajních polí.



Obrázek 10 R: Ukázka cibulové - mrtvé kotvy předpínací výztuže [5]

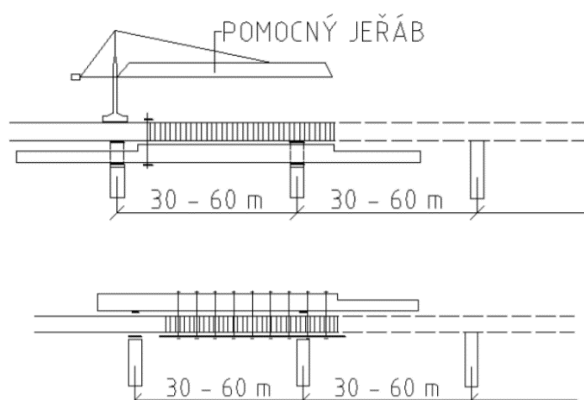
Napínání u přestavné skruže bývá prováděno vždy z jednoho konce vybetonované části, pouze u prvních předpínacích úseků lze předepínat z jejich obou konců. Betonujeme-li úseky přes více polí, může být tato volba napínání výhodná.



Obrázek 11 Ukázka možnosti napínání

2.3.2 Posuvná skruž

Posuvná - výsuvná - skruž je vhodná pro delší konstrukce s rozpětím polí od 30 do 60 m. Její uplatnění je zejména v polohách budované konstrukce nad nepřipustnou překážkou pro pevnou skruž či ve větších výškách. Konstrukce s touto technologií bývá stavěná po polích s přečnívající konzolou. Podpůrná konstrukce může být umístěna nad i pod mostovkou. Jedná se vlastně o výrobní zařízení s délkou desky 1,5 - 2,5 násobek rozpětí pole. Z ekonomického hlediska je tedy velmi vhodná pro mosty s konstantním rozpětím polí a především s velkým počtem polí.



Obrázek 12 Výsuvná skruž - a) uložení pod mostovkou; b) uložení nad mostovkou [7]

Vhodný příčný řez mostu při této technologii je trám či deska u menších rozpětí, u větších pak komorový průřez.

Během výstavby je tedy konstrukce namáhána nejen svojí vlastní tíhou, předpětím, ale i samotnou tíhou dočasné podpůrné konstrukce. Se zvětšujícím se rozpětím polí roste i zatížení od tíhy skruže. Jinak je princip výsuvné skruže podobný principu přestavné skruži po polích. Po dokončení stavby se konstrukce snaží také dosáhnout stavu napjatosti, který odpovídá konstrukci betonované v celku. Vliv dotvarování konstrukce během životnosti je tak nutné sledovat.

(Následující obrázek převzatý z internetového zdroje ukazuje použití posuvné skruže na stavbě dálnice D1 Hubová – Ivachnová SO 214, most na D1 v km 9,814 – 10,498. Cílem bylo překlenutí nejen Chočského potoku, ale i polních cest. Příčný řez je komorový s konstantní výškou. Konstrukce je o 12 polích středního rozpětí.)



Obrázek 13 R: Ukázka použití posuvné skruže pod mostovkou[8]



Obrázek 14 R: Ukázka použití posuvné skruže nad mostovkou[18]

3 ÚVOD

Předmětem bakalářské práce je návrh variantního řešení technologie výstavby silničního nadjezdu pomocí pevné skruže. Jednotlivé varianty se liší ve způsobu umístění skruže. Budeme se zabývat především návrhem předpětí a posouzením pro MSP.

První variantou je použití pevné skruže po celé délce mostu. Konstrukce je zde vybedněna v jedné fázi, následně pak předepnuta.

Druhou variantou je betonování a předepínání konstrukce po poli.

Třetí varianta je předepnuta ve dvou částech. Je jakýmsi středníkem mezi první a druhou variantou.

Každá variantu podrobně popíšeme v příslušné kapitole.

Výchozími parametry pro zpřesnění zadání naší práce, díky kterým bude závěrečné porovnání variant objektivnější, jsou: - neměnná geometrie trámového průřezu

- konstantní rozmístění polí včetně rozpětí
- použití shodných materiálů
- zavedení konstantních časových prodlev učitých činností v harmonogramu výstavby
- shodné podmínky pro MSP konstrukce v provozu.

Při návrzích předpětí budeme tedy měnit pouze samotnou výztuž, způsoby vedení kabelů, napínání kabelů a popřípadě polohy spár.

Měřítkem pro vyhodnocení pro nás bude přehled množství použité výztuže a počet kotev, dále pak můžeme hodnotit varianty z hlediska doby výstavby nebo množství potřebné skruže na stavbě.

4 GEOMETRIE KONSTRUKCE

Naší konstrukcí bude dálniční nadjezd o pěti polích celkové délky 117 m. Délky jednotlivých polí jsou v rozsahu od 18 do 27 m. Model konstrukce bude pouze prutový!

Inspirací nám byl skutečný dálniční nadjezd silnice I-47 nad dálnicí D1 u Bělotína. Byl postaven z předpjatých prefabrikátů, též konstantního průřezu. V podélném směru má proměnný sklon od 1,246% do 4,634%. Strmost stoupá proti směru staničení. Půdorysně leží most v přechodnici, tedy v oblouku s proměnným poloměrem od 400 do 1700 m. Příčný sklon konstrukce je konstantní 4%.



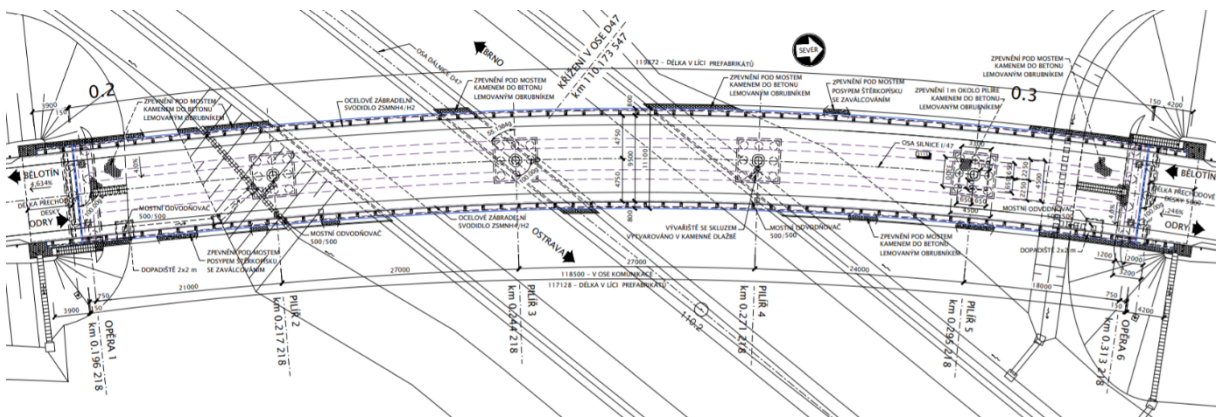
Obrázek 15 Inspirace skutečností [19]



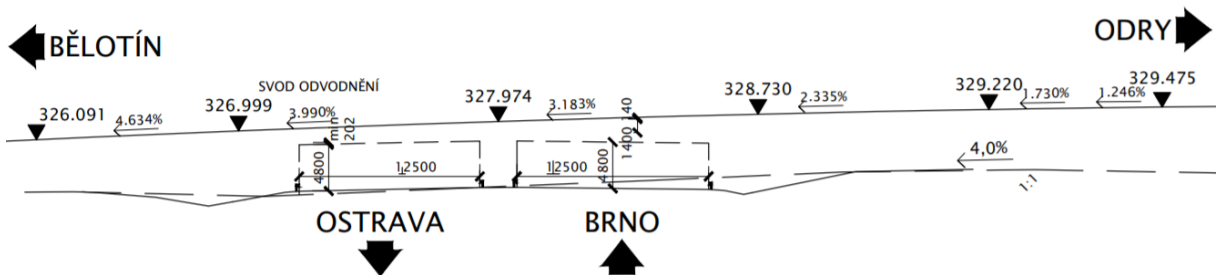
Obrázek 16 Poloha skutečného dálničního nadjezdu [19]



Obrázek 17 Inspirace skutečností – detail [19]



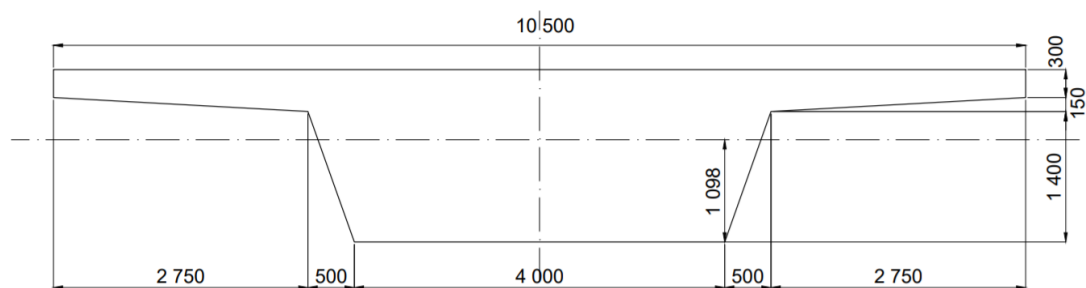
Obrázek 18 Podklady - Schéma půdorysu



Obrázek 19: Podklady - podélné schéma konstrukce

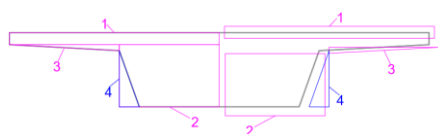
V této práci použijeme pouze základní schéma konstrukce. Přímý spojitý nosník s rozpětím jednotlivých polí 21 m – 27 m – 27 m – 24 m – 18 m. Veškeré sklony a zakřivení tedy zanedbáme. Trámový průřez bude v každém řezu konstantní a jeho rozměry budou shodné se skutečností.

4.1 Průřez a jeho charakteristiky



Obrázek 20 Průřez

Průřezové charakteristiky v plném průřezu jsou:



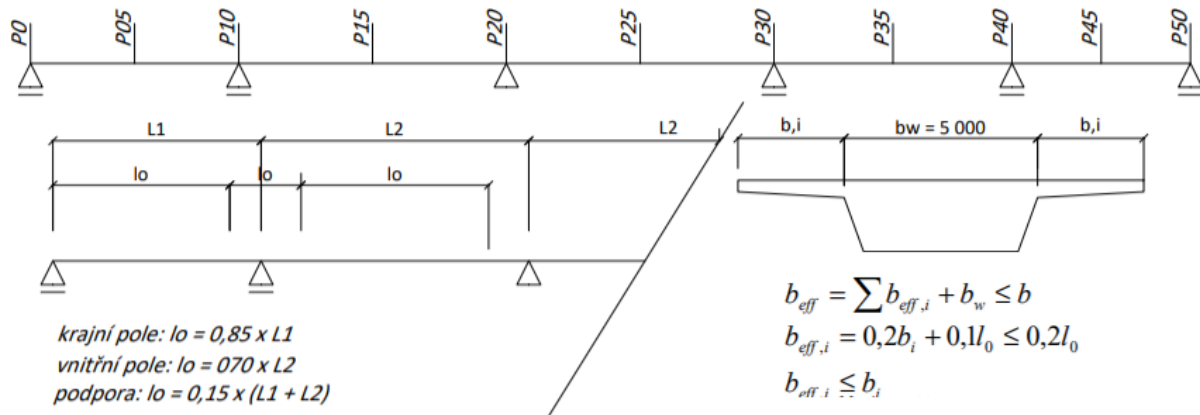
Obrázek 21 Průřez rozdělený na části pro ruční výpočet těžiště

i	h	b	n	A_i	$A \cdot n$	z_{ti}	$A \cdot z_{ti}$	z_t	$n \cdot I_{yi}$	e	$A \cdot n \cdot e^2$	I_y	Wh	Wd
-	m	m	-	m ²	m ²	m	m ³	m	m ⁴	m	m ⁴	m ⁴	m ³	m ³
1	0,300	5,250	2	1,575	3,150	1,700	5,355	1,098	0,024	0,602	1,141	1,1649	4,307	2,949
2	1,550	2,500	2	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3605		
3	0,150	2,750	2	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	1,400	0,500	2	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3553		
				Σ	10,6125	Σ	11,653					Σ	3,2383	

Tabulka 1: Průřezové charakteristiky plného průřezu

4.1.1 Výpočet spolupůsobící šířky

Nejen u trémových mostů se může vyskytovat smykové ochabnutí, které způsobuje nerovnoměrný průběh normálového napětí po průřezu. Čím jsou vykonzolované části průřezu delší, tím více klesá po jejich délce normálové napětí. Zmenšuje se tak efektivní plocha průřezu pro roznoš zatížení.



Obrázek 22 Výpočet spolupůsobící šířky

		$l_{0,i}$ [m]	b_i [m]	$b_{eff,i}$ [m]	$b_{eff,i} \leq b_i$ [m]	$\leq 0,2 \times l_{0,i}$ [m]	b_w [m]	$b_{eff,i}$ [m]
P0	podpora	-	-	-	menší z nich	-	-	-
P5	pole	17,85	2,75	2,335	2,335	3,57	5	9,67 = $b_{eff,05}$
P10	podpora	7,2	2,75	1,27	1,27	1,44	5	7,54 = $b_{eff,10}$
P15	pole	18,9	2,75	2,44	2,44	3,78	5	9,88 = $b_{eff,15}$
P20	podpora	8,1	2,75	1,36	1,36	1,62	5	7,72 = $b_{eff,20}$
P25	pole	18,9	2,75	2,44	2,44	3,78	5	9,88 = $b_{eff,25}$
P30	podpora	7,65	2,75	1,315	1,315	1,53	5	7,63 = $b_{eff,30}$
P35	pole	16,8	2,75	2,23	2,23	3,36	5	9,46 = $b_{eff,35}$
P40	podpora	6,3	2,75	1,18	1,18	1,26	5	7,36 = $b_{eff,40}$
P45	pole	15,3	2,75	2,08	2,08	3,06	5	9,16 = $b_{eff,45}$
P50	podpora	-	-	-	-	-	-	-

Tabulka 2: Výpočet efektivních šířek průřezů v řezech

Výpočet průřezových charakteristik v řezech:

P0, P50													
i	b/b_{eff}	n	A_i	A^*n	z_{ti}	A^*z_{ti}	Z_t	$n^*I_y i$	e	$A^*n^*e^2$	I_y	W_h	W_d
-	m	-	m ²	m ²	m	m ³	m	m ⁴	m	m ⁴	m ⁴	m ³	m ³
1	5,250	2,000	1,575	3,150	1,700	5,355	1,098	0,024	0,602	1,141	1,1646	4,307	2,949
2	2,500	2,000	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3610		
3	2,750	2,000	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	0,500	2,000	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3554		
			Σ	10,613		Σ	11,653			Σ	3,2383		

Tabulka 3: Průřezové charakteristiky v řezu 0,50

P5													
<i>i</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>Ai</i>	<i>A*n</i>	<i>zti</i>	<i>A*zti</i>	<i>Zt</i>	<i>n*Iy i</i>	<i>e</i>	<i>A*n*e2</i>	<i>Iy</i>	<i>Wh</i>	<i>Wd</i>
-	m	-	m2	m2	m	m3	m	m4	m	m4	m4	m3	m3
1	4,835	2,000	1,451	2,901	1,700	4,932	1,084	0,022	0,602	1,051	1,0725	4,105	2,904
2	2,500	2,000	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3610		
3	2,750	2,000	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	0,500	2,000	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3554		
Σ				10,364	Σ		11,230	Σ				3,1463	

Tabulka 4: Průřezové charakteristiky v řezu 5

P10													
<i>i</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>Ai</i>	<i>A*n</i>	<i>zti</i>	<i>A*zti</i>	<i>Zt</i>	<i>n*Iy i</i>	<i>e</i>	<i>A*n*e2</i>	<i>Iy</i>	<i>Wh</i>	<i>Wd</i>
-	m	-	m2	m2	m	m3	m	m4	m	m4	m4	m3	m3
1	3,770	2,000	1,131	2,262	1,700	3,845	1,043	0,017	0,602	0,819	0,8363	3,606	2,790
2	2,500	2,000	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3610		
3	2,750	2,000	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	0,500	2,000	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3554		
Σ				9,725	Σ		10,144	Σ				2,9100	

Tabulka 5: Průřezové charakteristiky v řezu 10

P15													
<i>i</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>Ai</i>	<i>A*n</i>	<i>zti</i>	<i>A*zti</i>	<i>Zt</i>	<i>n*Iy i</i>	<i>e</i>	<i>A*n*e2</i>	<i>Iy</i>	<i>Wh</i>	<i>Wd</i>
-	m	-	m2	m2	m	m3	m	m4	m	m4	m4	m3	m3
1	4,940	2,000	1,482	2,964	1,700	5,039	1,087	0,022	0,602	1,074	1,0958	4,156	2,915
2	2,500	2,000	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3610		
3	2,750	2,000	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	0,500	2,000	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3554		
Σ				10,427	Σ		11,337	Σ				3,1696	

Tabulka 6: Průřezové charakteristiky v řezu 15

P20													
<i>i</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>Ai</i>	<i>A*n</i>	<i>zti</i>	<i>A*zti</i>	<i>Zt</i>	<i>n*Iy i</i>	<i>e</i>	<i>A*n*e2</i>	<i>Iy</i>	<i>Wh</i>	<i>Wd</i>
-	m	-	m2	m2	m	m3	m	m4	m	m4	m4	m3	m3
1	3,860	2,000	1,158	2,316	1,700	3,937	1,047	0,017	0,602	0,839	0,8563	3,648	2,799
2	2,500	2,000	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3610		
3	2,750	2,000	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	0,500	2,000	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3554		
Σ				9,779	Σ		10,236	Σ				2,9300	

Tabulka 7: Průřezové charakteristiky v řezu 20

P25													
<i>i</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>Ai</i>	<i>A*n</i>	<i>zti</i>	<i>A*zti</i>	<i>Zt</i>	<i>n*Iy i</i>	<i>e</i>	<i>A*n*e2</i>	<i>Iy</i>	<i>Wh</i>	<i>Wd</i>
-	m	-	m2	m2	m	m3	m	m4	m	m4	m4	m3	m3
1	4,940	2,000	1,482	2,964	1,700	5,039	1,087	0,022	0,602	1,074	1,0958	4,156	2,915
2	2,500	2,000	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3610		
3	2,750	2,000	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	0,500	2,000	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3554		
Σ				10,427	Σ		11,337	Σ				3,1696	

Tabulka 8: Průřezové charakteristiky v řezu 25

P30													
<i>i</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>Ai</i>	<i>A*n</i>	<i>zti</i>	<i>A*zti</i>	<i>Zt</i>	<i>n*Iy i</i>	<i>e</i>	<i>A*n*e2</i>	<i>Iy</i>	<i>Wh</i>	<i>Wd</i>
-	m	-	m2	m2	m	m3	m	m4	m	m4	m4	m3	m3
1	3,815	2,000	1,145	2,289	1,700	3,891	1,045	0,017	0,602	0,829	0,8463	3,627	2,794
2	2,500	2,000	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3610		
3	2,750	2,000	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	0,500	2,000	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3554		
Σ				9,752	Σ		10,190	Σ				2,9200	

Tabulka 9: Průřezové charakteristiky v řezu 30

P35													
<i>i</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>Ai</i>	<i>A*n</i>	<i>zti</i>	<i>A*zti</i>	<i>Zt</i>	<i>n*Iy i</i>	<i>e</i>	<i>A*n*e2</i>	<i>Iy</i>	<i>Wh</i>	<i>Wd</i>
-	m	-	m2	m2	m	m3	m	m4	m	m4	m4	m3	m3
1	4,730	2,000	1,419	2,838	1,700	4,825	1,080	0,021	0,602	1,028	1,0492	4,055	2,892
2	2,500	2,000	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3610		
3	2,750	2,000	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	0,500	2,000	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3554		
Σ				10,301	Σ		11,123	Σ				3,1230	

Tabulka 10: Průřezové charakteristiky v řezu 35

P40													
<i>i</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>Ai</i>	<i>A*n</i>	<i>zti</i>	<i>A*zti</i>	<i>Zt</i>	<i>n*Iy i</i>	<i>e</i>	<i>A*n*e2</i>	<i>Iy</i>	<i>Wh</i>	<i>Wd</i>
-	m	-	m2	m2	m	m3	m	m4	m	m4	m4	m3	m3
1	3,680	2,000	1,104	2,208	1,700	3,754	1,039	0,017	0,602	0,800	0,8163	3,566	3,115
2	2,500	2,000	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3610		
3	2,750	2,000	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	0,500	2,000	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3554		
Σ				9,671	Σ		10,052	Σ				2,8901	

Tabulka 11: Průřezové charakteristiky v řezu 40

P45													
<i>i</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>Ai</i>	<i>A*n</i>	<i>zti</i>	<i>A*zti</i>	<i>Zt</i>	<i>n*Iy i</i>	<i>e</i>	<i>A*n*e2</i>	<i>Iy</i>	<i>Wh</i>	<i>Wd</i>
-	m	-	m2	m2	m	m3	m	m4	m	m4	m4	m3	m3
1	4,580	2,000	1,374	2,748	1,700	4,672	1,074	0,021	0,602	0,995	1,0160	3,984	3,014
2	2,500	2,000	3,875	7,750	0,775	6,006		1,552	-0,323	0,809	2,3610		
3	2,750	2,000	0,206	0,413	1,500	0,619		0,002	0,402	0,067	0,0682		
4	0,500	2,000	-0,350	-0,700	0,467	-0,327		-0,076	-0,631	-0,279	-0,3554		
Σ				10,211	Σ		10,970	Σ				3,0897	

Tabulka 12: Průřezové charakteristiky v řezu 45

1.1.1.1. Přehled průřezových charakteristik plného i redukovaného průřezu

Průřez	A	I	Z_t	W_h	W_d	A_{eff}	I_{eff}	z_{t eff}	W_{h eff}	W_{d eff}
-	m ²	m ⁴	m	m ³	m ³	m ²	m ⁴	m	m ³	m ³
P0	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	-	-	-	-	-
P5	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	10,364	3,146	1,084	4,105	2,904
P10	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	9,725	2,910	1,043	3,606	2,790
P15	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	10,427	3,170	1,087	4,156	2,915
P20	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	9,779	2,930	1,047	3,648	2,799
P25	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	10,427	3,170	1,087	4,156	2,915
P30	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	9,752	2,920	1,045	3,627	2,794
P35	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	10,301	3,123	1,080	4,055	2,892
P40	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	9,671	2,890	1,039	3,566	3,115
P45	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	10,211	3,090	1,074	3,984	3,014
P50	10,612	3,238	1,098	4,307	2,949	-	-	-	-	-

Tabulka 13: Přehled průřezových charakteristik ve všech řezech

Hodnoty průřezových charakteristik redukovaného průřezu se tolik neliší od hodnot plného průřezu. Navíc jsme se s vedoucím této práce, panem Doc. Ing. Markem Foglarem, Ph.D., dohodli, že pro zjednodušení budeme v modelu uvažovat pouze s plným průřezem v celé konstrukci.

5 MATERIÁLY

V práci použijeme beton C 30/37 XF4, betonářskou výztuž B500B a předpínací výztuž Y1860 S7 -15,7.

5.1 Beton

Pro objemovou tíhu železobetonu C30/37 XF4 s předpínacími kabely beru v úvahu její hodnotu 26 kN/m^3 .

Charakt. válcová pevnost v tlaku ve stáří 28 dní:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	
Charakt. krychelná pevnost v tlaku ve stáří 28 dní:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	
Střední pevnost v tlaku ve stáří 28 dní:	$f_{ck,cube} = 38 \text{ MPa}$	$f_{cm} = f_{ck} + 8$
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_c = 1,5$	
Návrhová pevnost v tlaku:	$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$	
	$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$	
Střední hodnota pevnosti v tahu:	$f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$	$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$
Dolní kvantil pevnosti v tahu:	$f_{ctk0,05} = 2,0 \text{ MPa}$	$f_{ctk0,05} = 0,7 f_{ctm}$
Horní kvantil pevnosti v tahu:	$f_{ctk0,95} = 3,8 \text{ MPa}$	$f_{ctk0,95} = 1,3 f_{ctm}$
Střední modul pružnosti	$E_{cm} = 31\,939 \text{ MPa}$	$E_{cm} = 9500 f_{cm}^{1/3}$
Poměrné přetvoření při porušení	$\epsilon_{cu3} = -0,00035$	
Střední pevnost v tlaku ve stáří 7 dní:	$f_{ck}(t) = 22,122 \text{ MPa}$	
Střední pevnost v tahu ve stáří 28 dní	$f_{ck,cube} = 2,375 \text{ MPa}$	

5.2 Betonářská výztuž

Charakteristická mez kluzu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost v tahu	$f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$
Návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s = 200 \text{ MPa}$

5.3 Předpínací výztuž

Charakteristická pevnost v tahu	$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$
Smluvní mez kluzu	$f_{p0,1} = 1640 \text{ MPa}$

Dílčí součinitel spolehlivosti	$\gamma_s = 1,15$
Návrhová pevnost v tahu	$f_{pd} = 1423,3 \text{ MPa}$
Dílčí součinitel předpětí	$\gamma_p = 1$
Modul pružnosti	$E_p = 195\,000 \text{ MPa}$
Průměr 1 lana	$\varnothing = 15,7 \text{ mm}$
Plocha 1 lana	$A_{p,1} = 150 \text{ mm}^2$

Dále potřebuji:

- hodnotu maximálního přípustného napětí v předpínací výztuži v průběhu předpínání, dle ČSN EN 1992-1-1:

$$\sigma_{p0,max} = \min\{0,8f_{pk}; 0,9f_{p0,1}\} = \min\{0,8 \times 1860; 0,9 \times 1640\} = \min\{1488; 1476\} = 1476 \text{ MPa}$$

- hodnotu maximálního přípustného napětí v předpínací výztuži bezprostředně po vnesení napětí do betonu, dle ČSN EN 1992-1-1:

$$\sigma_{p\infty,m} = \min\{0,75f_{pk}; 0,85f_{p0,1}\} = \min\{0,75 \times 1860; 0,85 \times 1640\} = \min\{1395; 1394\} = 1394 \text{ MPa}$$

- hodnotu napětí v čase t_0 po krátkodobých ztrátách odhadovaných 15% (pro prvotní návrh předpětí)

$$\sigma_{pm,0} = 0,85 \sigma_{p0,max} = 0,85 \times 1476 = 1254,6 \text{ MPa (1250)}$$

- hodnotu napětí v čase $t_0=100$ let po dlouhodobých ztrátách odhadovaných 10% (na konci životnosti)

$$\sigma_{pm,100} = 0,90 \sigma_{pm,0} = 0,90 \times 1254,6 = 1129 \text{ MPa}$$

6 ZATÍŽENÍ

Zatížení mostu počítáme dle normy ČSN EN 1991-2.

6.1 Stálé

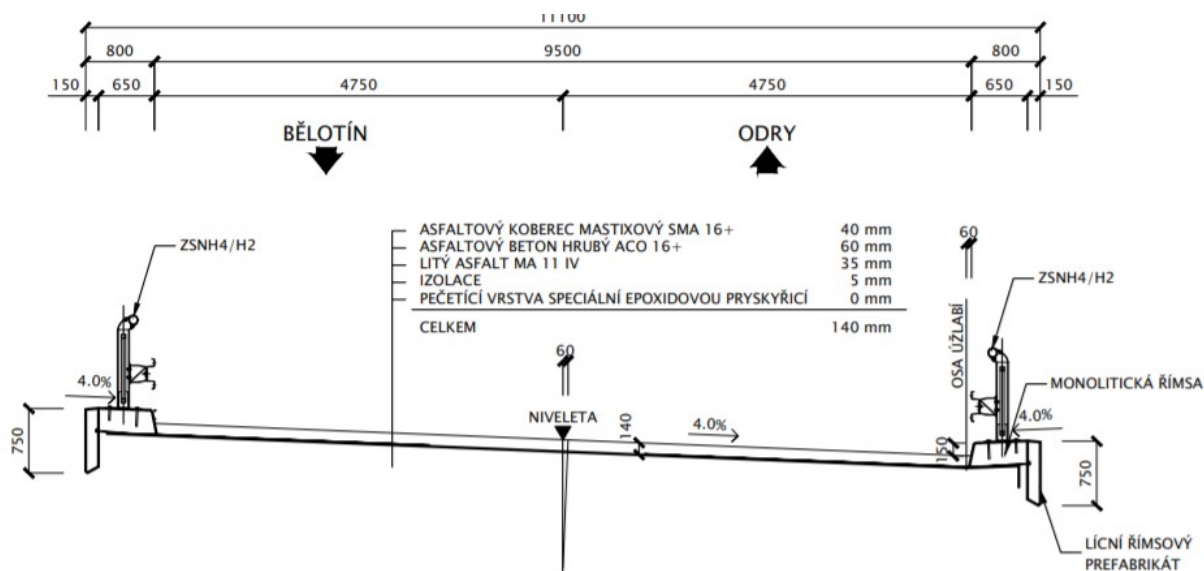
6.1.1 Vlastní tíha

Zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce je spočítáno automaticky programem SCIA. S objemovou tíhou betonu 26 kN/m³ a plochou průřezu 10,613 m² uvažuje na prutovém modelu liniové zatížení o velikosti

$$2600 \times 10,613 / 1000 = 275,9 \text{ kN/m.}$$

6.1.2 Ostatní stálé

Seznam položek ostatního stálého zatížení je sestaven na základě příčného řezu mostu v poli. Zábradelní svodidlo ZSNH4/H2 je vyplněno svislými sloupky. Jeho hmotnost je uvažována dle výrobce, a to 73,41 kg/m. Plocha vozovky v příčném řezu mostu je $A = 9,5 \cdot t_i$, kde t_i je tloušťka určité vrstvy a 9,5 je šířka vozovky mezi svodidly v metrech.



Obrázek 23: Schéma ostatního stálého zatížení

Kvůli pravděpodobným odchylkám tloušťky vrstev vozovky a izolace se charakteristické hodnotě $g_{l,k}$ stanoví také její horní a dolní mez pomocí součinitelů α_{sup} a α_{inf} .

	počet	t_i	plocha	hmotnost	objemová tíha	$g_{l,k,m}$	α_{sup}	$g_{l,k,sup}$	α_{inf}	$g_{l,k,int}$
	-	[m]	[m ²]	[kg/m]	[kN/m ³]	[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
Svodidlo	2	/	/	73,41	/	1,4682	1	1,4682	1	1,4682
Římsa	2	/	0,273	/	25	13,65	1	13,65	1	13,65
Svody	/	/	/	/	/	0,4	1	0,4	1	0,4
Vozovka:	/	/	/	/	/	-				
SMA 16+ +	/	0,04	0,38	/			1,4	44,8875	0,8	
ACO 16+	/	0,06	0,57	/	25	32,0625				
+ MA 11	/	0,035	0,3325	/						25,65
Izolace	/	0,005	0,0475	/	23	1,0925	1,4	1,5295	0,8	0,874
$\Sigma=$						48,6732		$\Sigma=$ 61,9352		$\Sigma=$ 42,0422

Tabulka 14 Ostatní stálé zatížení v konstrukci

6.1.3 Pokles podpor

Pokles podpor uvažujeme 5 mm. Jsou zavedeny dva zatěžovací stavy: V prvním definujeme pokles všech lichých podpor, ve druhém pokles všech sudých podpor.

6.2 Proměnné zatížení

6.2.1 Zatížení dopravou

Zatížení dopravou je spočítáno modelem LM1 dle ČSN EN 1991-2. Ostatní modely LM nejsou v této práci uvažovány.

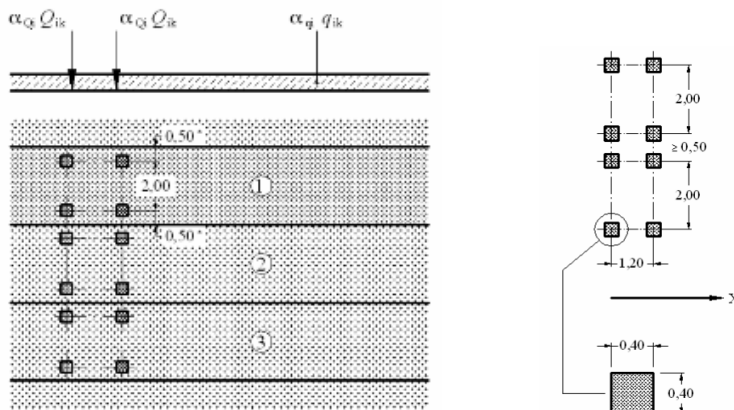
Šířka vozovky mezi vnitřními líci svodidel je 9,5m, chodníky se nevyskytují ani na jedné straně komunikace. Skupina přemostňované pozemní komunikace je 1. Rozdělení vozovky do zatěžujících pruhů je následující:

-Šířka vozovky: $w=9,5$ m

-Počet zatěžovacích pruhů: $n=3$

-šířka jednoho zatěžovacího pruhu: $w_i=3$ m

-Šířka zbývající plochy: $r=0,5$ m



Obrázek 24 Schéma zatížení LM1 [16]

Model zatížení LM1

Jelikož je pro mosty nejúčinnější zatěžovací systém gr1a, zabývám se pouze modelem zatížení LM1. Ten se skládá ze zatížení dvounápravy (TS) a rovnoměrného zatížení (UDL). V tabulce jsou uvedeny jejich charakteristické hodnoty včetně dynamických účinků a regulačních součinitelů, které jsou ovšem ve všech případech rovny 1.

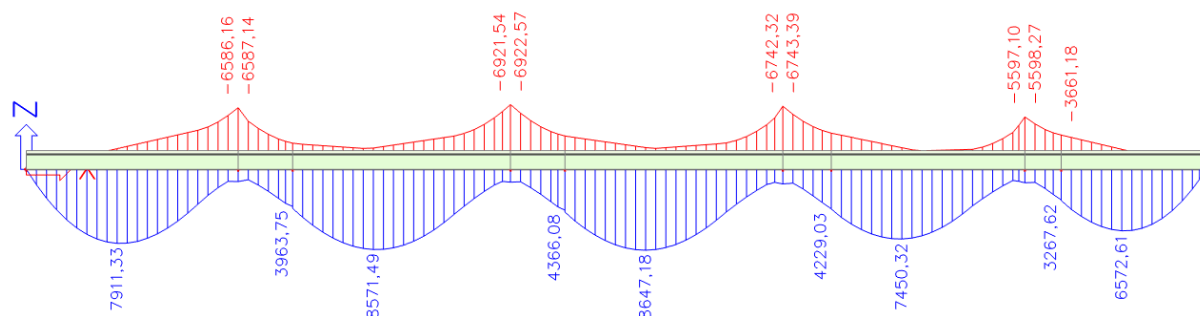
Dle ČSN EN 1991-2:

PRUH	TS		UDL			
	Q_{ik} [kN]	α_{qi} [-]	q_{ik} [Kn/m ²]	α_{qi} [-]	w_i [m]	q_{ik} [Kn/m]
č. P1	300	1	9	1	3	27
č. P2	200	1	2,5	2,4	3	18
č. P3	100	1	2,5	1,2	3	9
zbylá plocha	0	0	2,5	1,2	0,5	1,5
	600					55,5

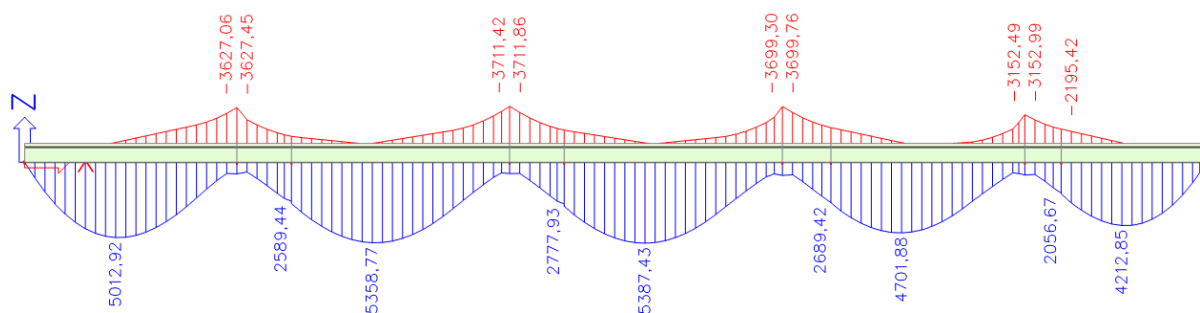
Tabulka 15 Zatížení dopravou LM1 - hodnoty

Poznámka: Ve SCII definujeme dopravu jako *nahodilé*, *výběrové* zatížení, v kategorii *G pro vozidla větší než 30 kN*. Sestavy zatížení určím zvlášť pro charakteristickou a zvlášť pro častou

kombinaci.



Obrázek 25 Dop_Char-zatížení dopravou- obálka M_y (kNm)



Obrázek 26 Dop_Fre - zatížení dopravou - obálka M_y (kNm)

6.2.2 Zatížení teplotou

Uvažujeme pouze nerovnoměrné lineární zatížení teplotou ve směru osy Z. Rovnoměrné oteplení (ochlazení) zde nemá smysl počítat, jelikož konstrukce je modelována jako spojitý nosník, deformacím tedy není zabráněno.

Teplota T_+ : -horní delta (z_+): 10,5 °C (K)

-spodní delta (z_-): 0 °C (K)

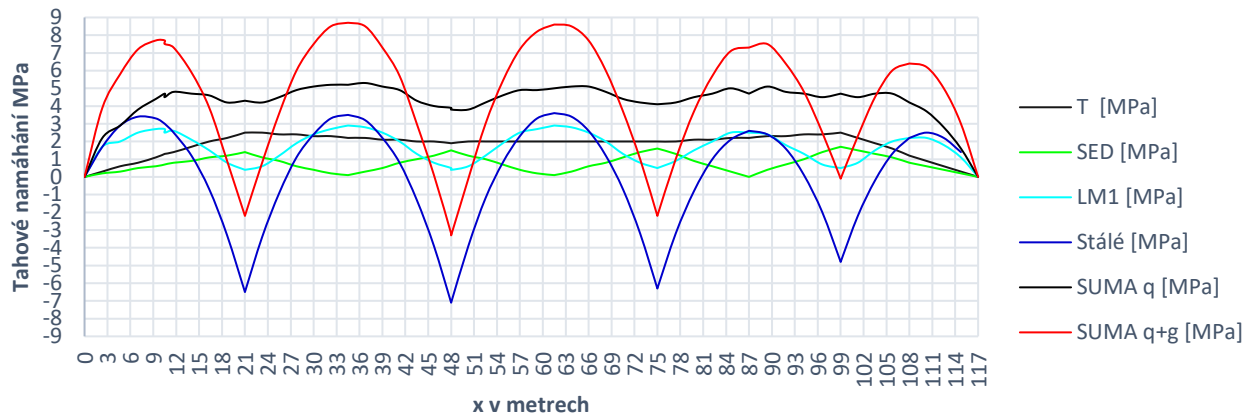
Teplota T_- : -horní delta (z_+): -8 °C (K)

-spodní delta (z_-): 0 °C (K)

6.3 Přehled normálového napětí od zatížení

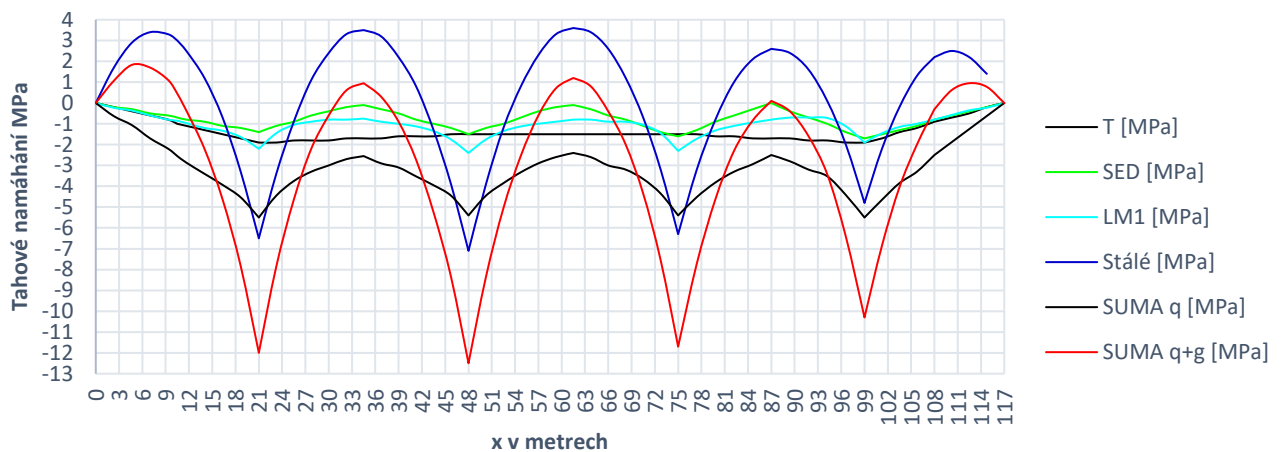
V naší práci budeme ve všech variantách navrhovat a posuzovat předpětí na MSP (mezí stav použitelnosti). Ve výpočetním programu tak budeme sledovat normálová napětí v průřezu při působení kombinací zatížení. Proto si vykreslíme grafy těchto napětí od jednotlivých zatížení, abychom viděli, jak namáhaná konstrukce může být. Vykreslujeme plné, neredukované účinky.

Tahová namáhání ve spodních vláknech průřezu [MPa]



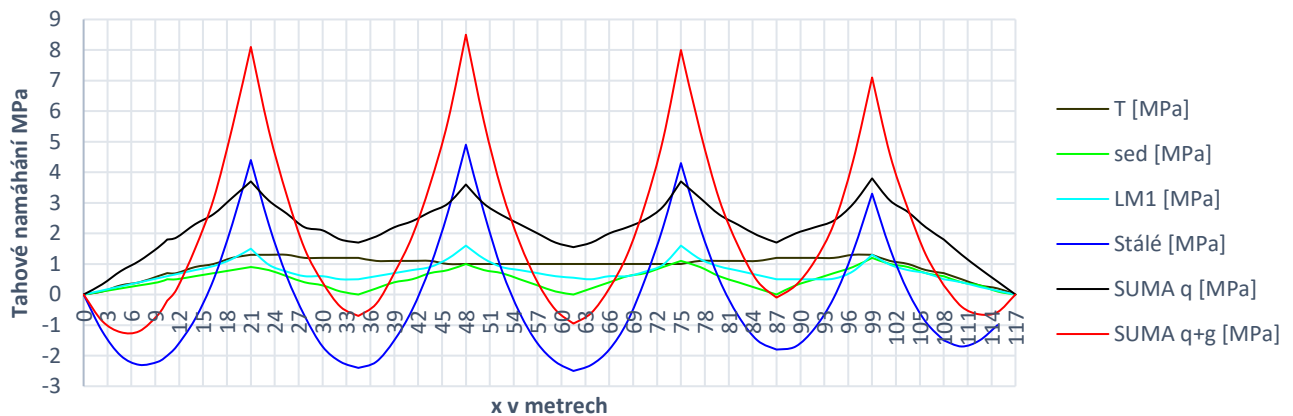
Obrázek 27 Tahová namáhání ve spodních vláknech průřezu od zatížení (MPa)

Tlaková namáhání ve spodních vláknech průřezu [MPa]



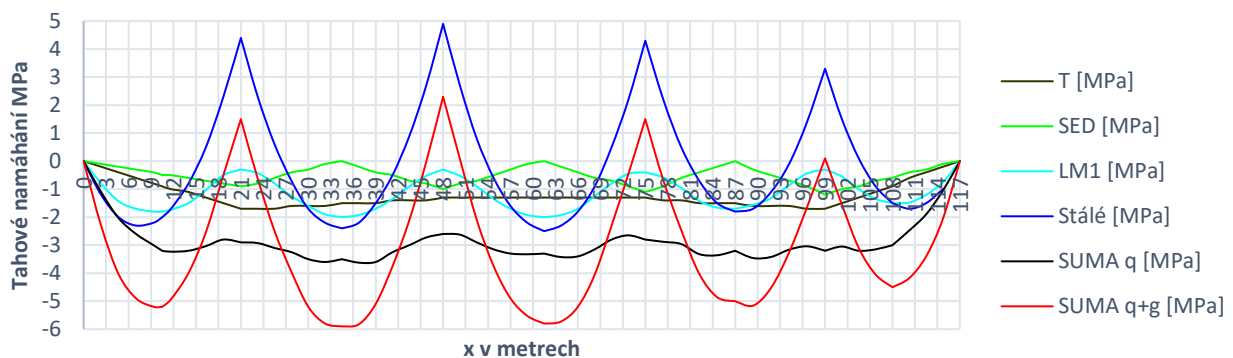
Obrázek 28 Tlaková namáhání ve spodních vláknech průřezu od zatížení (MPa)

Tahová namáhání v horních vláknech průřezu [MPa]



Obrázek 29 Tahová namáhání v horních vláknech průřezu od zatížení (MPa)

Tlaková namáhání v horních vláknech průřezu [MPa]



Obrázek 30 Tlaková namáhání v horních vláknech průřezu od zatížení (MPa)

Vidíme, že proměnná napětí můžou hrát zásadní roli v průběhu napětí v konstrukci.

7 KOMBINACE ZATÍŽENÍ PRO MSP

V této kapitole uvádíme přehled součinitelů a kombinací, které pak použijí k posouzení konstrukce u všech variant pro definování fází výstavby a provozu. Vycházíme z [1], ČSN EN 1990 ed. 2: 2011 (73 0002) Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*.

Mezi mezní stavy použitelnosti patří:

- *omezení normálových napětí*: - omezení napětí v betonu
- omezení napětí v předpjaté výztuži- nerozhoduje.
- *omezení vzniku trhlin*.

Výpočet napětí je obecně založen na lineárně-pružném chování betonu, rovinnosti průřezu před i po deformaci, soudržnosti betonu s ocelí.

Součinitele

Zatížení	Značení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Doprava gr1a-LM1	$Q_{k,1}$: TS (dvojnáprava)	0,75	0,75	0,00
	$Q_{k,1}$: UDL (rovnom. zat.)	0,40	0,40	0,00
Teplota	T_k	0,60	0,60	0,5

Tabulka 16 MSP - kombinační součinitelé

Kombinace

Charakteristická kombinace: $\Sigma G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Častá kombinace: $\Sigma G_{k,j} + P + \Sigma \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$

Kvazistálá kombinace: $\Sigma G_{k,j} + P + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$

8 PŘEDPĚTÍ

8.1 Předběžný návrh předpětí

Predběžný návrh nám poslouží k získání bližších představ o počtu předpínacích kabelů a průběhů kabelových drah v podélném směru nadejzdu. Zdůrazňuji „bližších představ“, neboť předpokládám, že způsoby vedení, napínání a množství předpínací výztuže budeme upravovat v závislosti na zkoumané technologii výstavby.

8.1.1 Metoda vyrovnání zatížení

Predběžný návrh je proveden metodou vyrovnání zatížení, a to stálého zatížení $(g_0+g_1)_k$ ekvivalentním zatížením od předpětí. V našem případě chceme předpětím způsobit

$$g_{0,k} + g_{1,k,sup} = 275,9 + 61,935 = 337,835 \text{ kN/m},$$

Dráhy kabelů jsou tvořeny předběžně parabolickými oblouky. Je snaha je schématicky co nejvíce přiblížit průběhu ohybového momentu M_y od stálého zatížení. V krajních polích je tedy navržen tvar kabelu nesymetrické paraboly, naopak ve všech vnitřních polích je kabel navržen symetrickými parabolickými oblouky. Jsou charakterizovány dvěma parametry – vzdáleností počátku a konce paraboly a jejím vzepětím f , přitom je nutné dodržet $f/L \leq 1/15$.

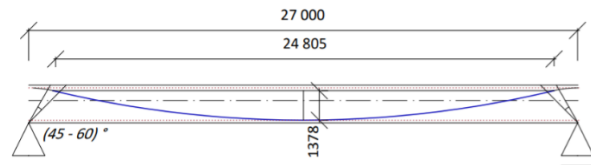
Jedná se o dodatečně předpjatou monolitickou konstrukci. Kabel působí na beton nárazově v místech kotvení a spojitě v místech změn směru kabelu. Jelikož je výpočet ruční, byly předem stanoveny zjednodušující předpoklady, a to:

- nahrazení skupiny kabelů jedním průměrným kabelem
- hodnota předpínací síly je po délce průměrného kabelu konstantní, tedy pro návrh neuvažují **průběhy** ztrát předpětí (Ztráty uvažují před vedením.)

Návrh předpínací výztuže provedeme pro prostřední (třetí) pole, ve kterém zatížení od vlastní tíhy a ostatního stálého vyvolá největší ohybové momenty.

$$-f \text{ (vzepětí paraboly)} = 1,378 \text{ m (Odměřeno z CADu)},$$

$$-L \text{ (max.připustná délka paraboly)} = 24,805 \text{ m}$$



Obrázek 31 Metoda vyrovnání zatížení - návrh pro 3. pole

$$p = 8f \frac{P}{L^2} = (g_{0,5} + g_{1,k}) \Rightarrow P = p \frac{L^2}{8f} = 337,835 \times \frac{24,805^2}{8 \times 1,378} = 18\,856 \text{ kN} = 18,856 \text{ MN}$$

Nutná plocha předpínací výztuže je:

$$A_{\text{nut}} = \frac{18,856}{1129} = 0,01671 \text{ m}^2,$$

a potřebný počet lan pak tedy:

$$n = \frac{A_{\text{nut}}}{A_1} = \frac{167\,10}{150} = 111,342 \text{ (111,34)} \Rightarrow 112$$

Navrhuji 6 kabelů po 19 lanech- celkem tedy 114 lan.

Návrh ostatních parabol v jednotlivých polích je proveden za snahy vyvodit po celé konstrukci konstantní ekvivalentní zatížení od předpětí, tedy dodržet konstantní poměr l_i^2/f , který vyplívá ze vzorce viz výše.

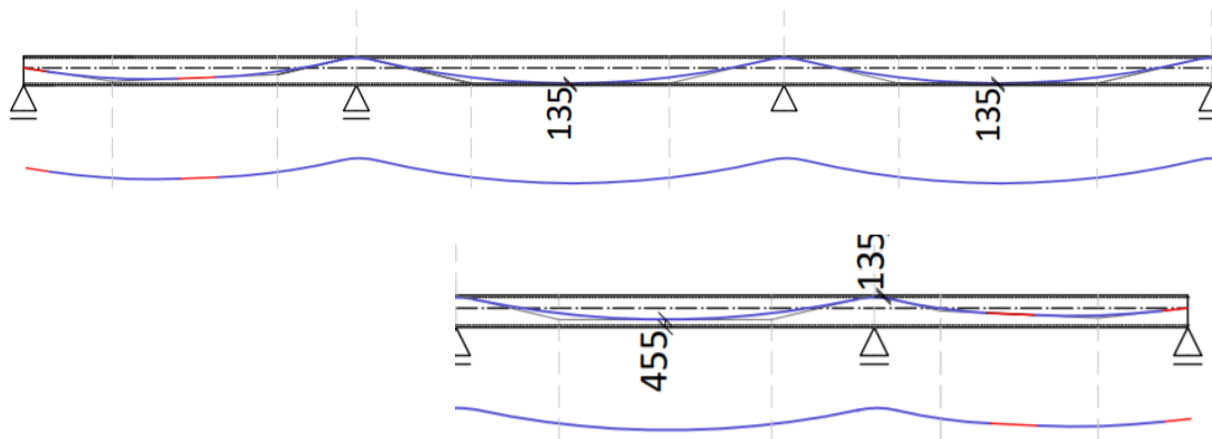
Dále se předpokládá s: -minimálním poloměrem zakřivení kabelů nad pilíři- $R_{\text{min}} = 5,00 \text{ m}$ do

počtu 19 lan v kabelu, $R = 7,5 \text{ m}$ pro kabel s 22 lany

-kotvením v krajních polích v těžišti průřezu, popřípadě výslednicí v těžišti průřezu

-kotvení (v případě oboustranného kotvení) symetrické $e_A = e_F$

-minimální délka přímé za kotvou 1,50 m.



Obrázek 32: Schéma tvaru předběžného ideálního kabelu

Pro malou kontrolu k ověření správnosti výpočtu vycházejícího z metody vyrovnání zatížení vyneseme hodnoty ekvivalentního zatížení od předpětí.

	rozpět pole	napětí	počet kabelů	počet lan/kabel	parabola		ideální zatížení od předpětí
	[m]	[MPa]	[kus]	[kus]	vzepětí [m]	délka [m]	[m]
pole 1	21	1129	6	19	0,742	18,481	335,531
pole 2	27	1129	6	19	0,363	12,265	372,693
		1129	6	19	0,357	12,165	372,584
pole 3	27	1129	6	19	0,361	12,106	380,440
		1129	6	19	0,357	11,81	395,320
pole 4	24	1129	6	19	0,279	10,667	378,704
		1129	6	19	0,274	10,585	377,702
pole 5	18	1129	6	19	0,49	14,849	343,227

Tabulka 17: Hodnoty zatížení od ideálního předběžného kabelu dle metody vyrovnání zatížení

Snahou bylo vyrovnat zatížení o velikosti 337,835 kN/m, návrh považuji pro další použití v práci za vyhovující.

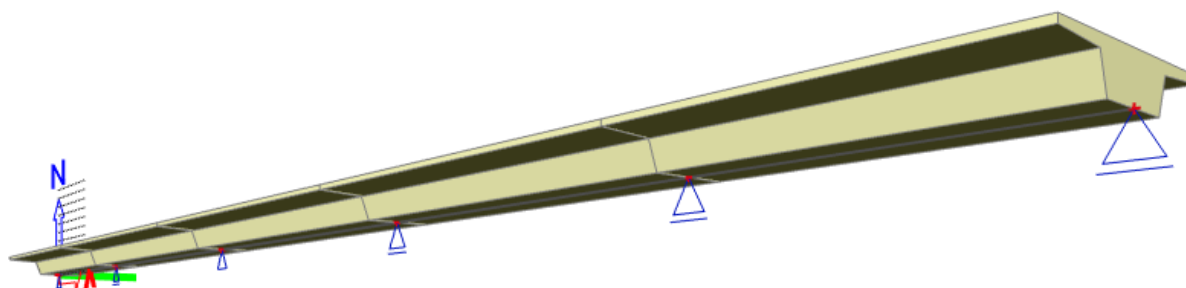
9 VARIANTA 1: PEVNÁ SKRUŽ SITUOVANÁ NA CELÉ DĚLCE KONSTRUKCE

Není náhodou, že volíme tento typ pevné skruže jako první. Konstrukce bude betonována v celku, následně předeprnuta z obou svých konců. Stavba tak bude předeprnuta v jedné fázi, což je pro nás ideální případ zadání pro seznámení s moduly *TDA*, *Fáze výstavby a provozu* a *Předpětí* v programu SCIA Engineer. Modelování konstrukce s touto variantou skruže totiž nebude složité a přitom dostačující pro bližší pochopení fungování výpočetního programu.

Poznámka: S moduly v programu pracujeme poprvé, proto v této variantě rozepíšeme i některé kroky při zadávání do modelu, abychom v případě nesrovnalostí navázali na zpětnou vazbu. Postup byl velice obdobný s oficiálním návodem společnosti SCIA.

9.1 Model konstrukce

Konstrukce je modelována jako spojitý nosník o pěti polích. Podpory jsou uvažovány jako posuvné kloubové, pouze podpora č. 3 je definována jako pevný kloub. Poloha pevného kloubu mi přijde ideální vzhledem k dilataci mostu. Typ konstrukce je ve výpočetním programu nastaven jako rám XZ! Pouze takto lze využít moduly s časovou analýzou.



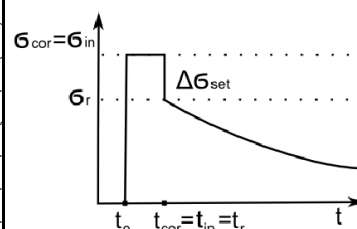
Obrázek 33 V I: Model konstrukce

Předpětí a konstrukční zásady

V programu si vytvoříme zatěžovací stav *Předpětí* a pomocí zdrojové geometrie vymodelujeme dodatečně předpjaté kabely se soudržností. Jednotlivé body polygonu a délky tečen, případně velikosti poloměrů, byly předem namodelovány v programu AutoCad. Přehled základních parametrů kabelu je v tabulce níže. V této variantě jsou všechny kabely přiřazeny všem nosníkům, jinak je potřeba určitým předpínacím fázím přiřadit konkrétní kabely, dílce i podpory. (To si později vyzkoušíme v dalších dvou variantách.)

TABULKA PARAMETRŮ

	hodnota	[jedn.]
Materiál	Y1860 S7 - 15,7	
průměr kanálku	90	mm
Napínání z	oba konce	
Typ napínání	Typ 3	
Součinitel tření v oblouku	0,3	
Pokluz (počátek/konec)	6	mm
Napětí v průběhu podržení napětí (počátek/konec)	1440	Mpa
Napětí počáteční (počátek/konec)	1440	MPa



Tabulka 18 V I: Tabulka parametrů předpínacího kabelu

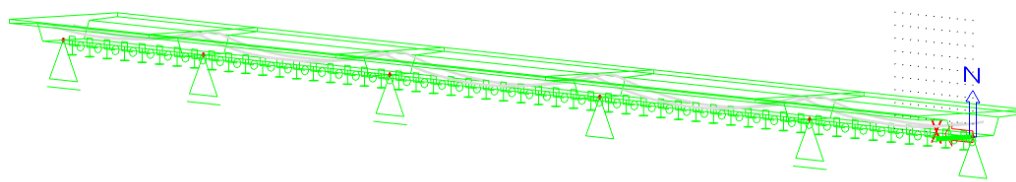
Zatěžovací stavy a fáze výstavby

Nyní si vytvoříme zatěžovací stavy, které jsou potřeba k definování výstavby.

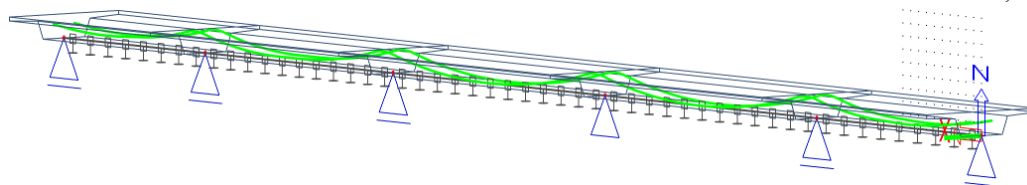
Prvním zatěžovacím stavem je *Bednění*, kdy je konstrukce v bednění podepřena pevnou skruží. Zatížení od bednění a vlastní tíhy přenáší skruž, pilíře a opěry. Trám mostu tak není namáhán žádnými silami. Následuje stav předepnutí, při němž v konstrukci silové účinky na trám vznikají, a to současně od předpětí a vlastní tíhy. Skruž tak odtěžíme a trémovou konstrukci zatěžíme. Nutno poznamenat, že toto se odehrává ve velice krátkém časovém úseku. Následuje odbednění, kdy je odstraněna skruž a veškeré účinky od vlastní tíhy a předpětí působí plně na konstrukci.

Dále jsou vytvořeny zatěžovací stavy pro vnesení ostatního stálého zatížení a poklesy podpor. Nyní uvažujeme stavbu za dokončenou.

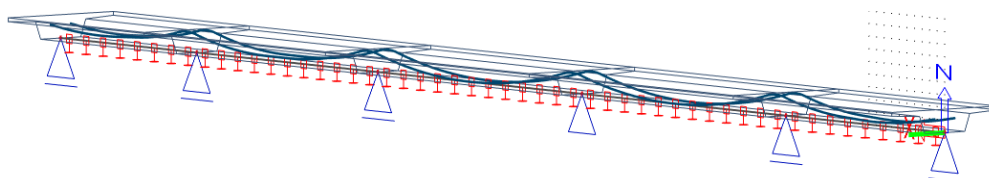
Vytvoříme zatěžovací stavy pro provoz konstrukce, jednotlivá zatížení (abychom viděli, jak se chová předpjatá konstrukce se samotným účinkem od teploty, dopravy atd.) a kombinace těchto zatížení pro posouzení MSP. Každý zatěžovací stav přiřadíme jedné fázi výstavby či provozu.



Obrázek 34 V I: Betonování mostu



Obrázek 35 VI: Předepnutí mostu



Obrázek 36 VI: Odbednění

Časová osa fází

Pro porovnání variant pevné skruže je i podstatným měřítkem čas, respektive doba výstavby. Proto si zavedeme určitá pravidla.

Čas měříme od bednění první části konstrukce (Ve variantě 1 tedy od bednění celé konstrukce.), předepnutí vybetonované části bude provedeno vždy 7 dní po jejím betonování, k odbednění dojde ihned poté. Ostatní stálé zatížení bude na konstrukci vneseno 30 dní po poslední fázi bednění. V této chvíli je stavba považována za dokončenou a od tohoto okamžiku bude za 20 dní oficiálně uvedena do provozu.

Fáze výstavby	Čas [den]
Bednění	0
Předepnutí	7
Odbednění	7,1
Ostatní prvky (ost. st.)	30
Dokončená stavba DK	30,1
Uvedení do provozu UP	50
UP charakteristická k.	cca 100
UP častá k.	
UP kvazistálá k.	
KZ charakteristická k.	cca 36 500
KZ častá k.	
KZ kvazistálá k.	

Tabulka 19 VI: Harmonogram výstavby

Poznámka: Doba ošetření nosníku je 3 dny.

9.2 Sledování konstrukce

V tuto chvíli, po vymodelování konstrukce a nadefinování kombinací pro MSP v TDA SCII, můžeme začít sledovat průběhy napětí od předpětí a ostatního zatížení a hledat vhodný způsob úpravy řešení, který vyhoví všem níže uvedeným kritériím.

Fáze Betonování

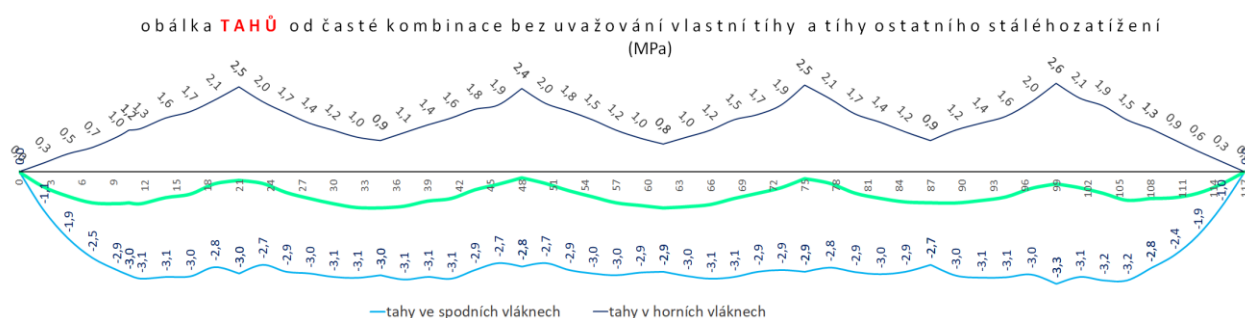
V této fázi by bylo určitě nutné posoudit únosnost a průhyby skruže a s tím související nadvýšení. Nicméně tím se v této práci zabývat nebudeme, neboť to pro její rozsah není zásadní.

Fáze předpětí, Fáze odbednění

Předepnutí je vneseno v čase 7 dní po vybetonování daného úseku, případně celé konstrukce. Maximální povolené napětí 7-denního betonu v tlaku je $0,6 \cdot 22,122 = 13,27$ MPa, v tahu 2,375 MPa.

Fáze DK + ostatní stálé

V této fázi beton dosáhl své konečné pevnosti a my jsme vnesli ostatní stálé zatížení. Tahové napětí vyvozené stálým zatížením (vl.tíha + ost.st.) je vhodné vykrýt účinky od předpětí. Stav, při kterém by tak byla betonová konstrukce namáhaná pouze tlakem (samozřejmě pod mezí pevnosti), by se mohl označit jako ideální a je možné ho získat právě vnesením předpětí do konstrukce. Nicméně, ani to nemusí pro vyhovující návrh předpjaté betonové konstrukce stačit. V konstrukci potřebujeme navíc vyvolat dostatečné tlakové rezervy, které by měly zhruba odpovídat obálce hodnot od časté kombinace (již bez vlastní tíhy a tíhy ostatních stálých prvků). Přehled hodnot je v následujícím grafu.



Obrázek 37 Obálka tahových napětí od časté kombinace zatížení bez uvažování tíhy konstrukce a tíhy konstrukčních prvků (MPa)

Uvedení konstrukce do provozu (posouzení dle MSP)

Navrhujeme s betonem typu C 30/37 XF2:

Podmínky dle MSP omezení napětí, omezení trhlin:

Pro *charakteristickou kombinaci zatížení* je maximální hodnota napětí v tlaku:

$$0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 30 = 18 \text{ MPa},$$

pro *kvazistálou kombinaci zatížení* je přípustná maximální hodnota napětí v tlaku:

$$0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 30 = 13,5 \text{ MPa},$$

a v tahu 0 MPa.

Pro *častou kombinaci zatížení* jsou tahy nepřipustné v celém průřezu, po celou dobu životnosti. Tlak je v této kombinaci bez omezení, avšak by nikdy neměla být překročena tlaková pevnost betonu.

Konstrukce na konci své životnosti (posouzení dle MSP)

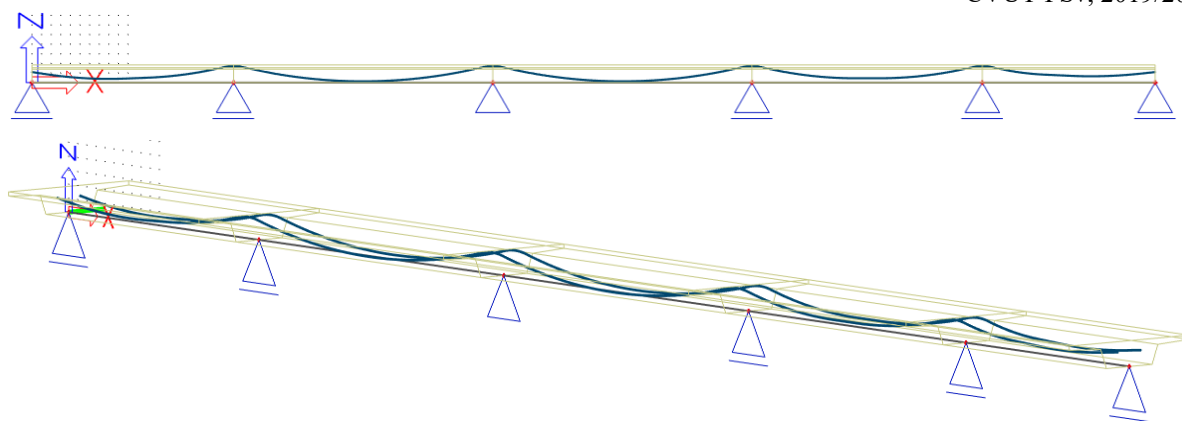
Maximální a minimální přípustná napětí jsou stejná pro všechny kombinace jako při uvedení do provozu.

Poznámka: Nejprísnejší podmínkou jsou pro častou kombinaci v tahu, pro kvazistálou kombinaci v tlaku. Proto přednostně budeme vykreslovat průběhy napětí od těchto kombinací.

9.3 Chování konstrukce s navrhovaným předpětím

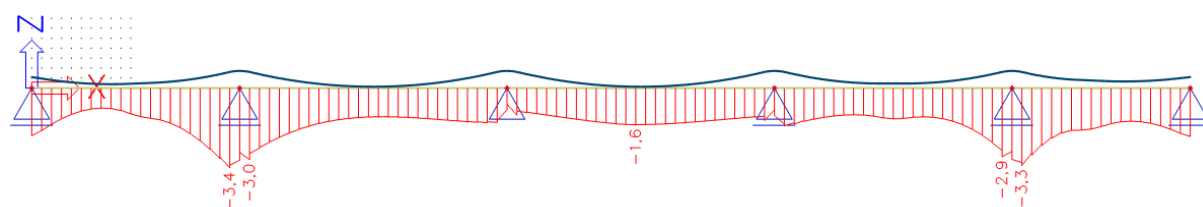
9.3.1 Návrh 1

V prvním návrhu vycházíme čistě z výpočtu podle metody vyrovnání zatížení, který jsme provedli v kapitole 7. *Předpětí*. Máme tedy 6 kabelů po 19 lanech (celkem 114 lan). Tvar kabelu je uveden taktéž v kapitole 7 *Předpětí*.

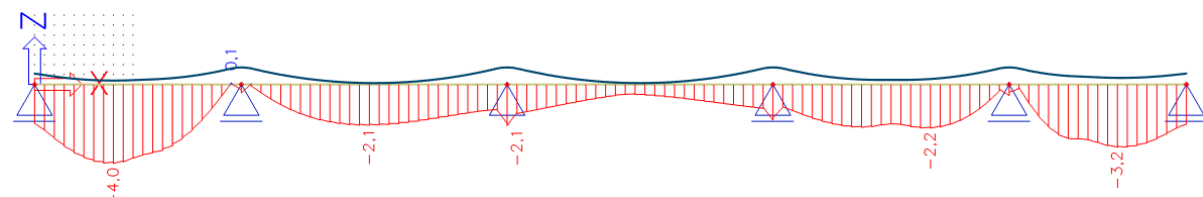


Obrázek 38 VI N1: Schéma kabelů

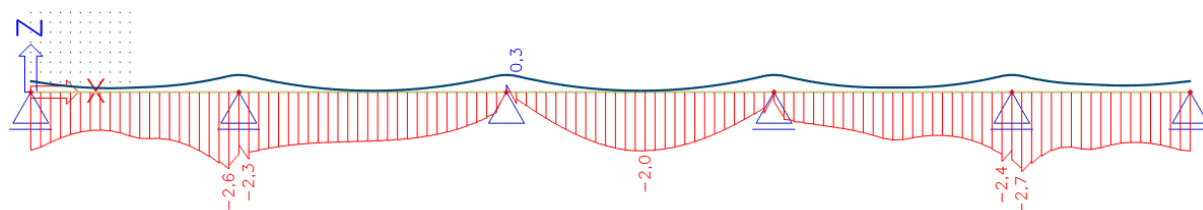
Sledování konstrukce - stavba



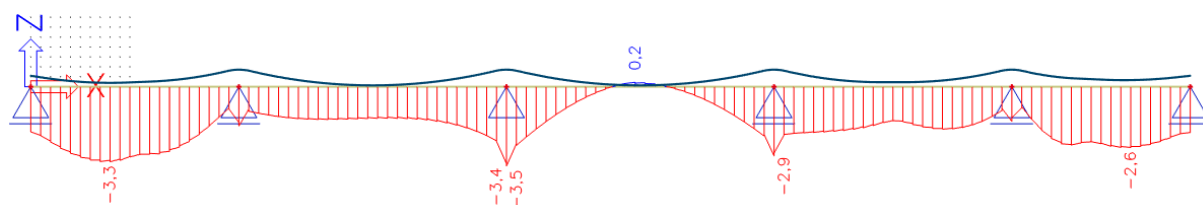
Obrázek 39 VI N1: Napětí v horních vláknech po odbednění (MPa)



Obrázek 40 VI N1: Napětí v dolních vláknech po odbednění (MPa)



Obrázek 41 VI N1: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



Obrázek 42 VI N1: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

Z předchozích obrázků vidíme, že navržené předpětí eliminuje téměř veškerý tah od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení. Nicméně naši konstrukci poskytne pouze malé tlakové rezervy pro tahy od dalších zatížení, jako jsou teplota, doprava a poklesy podpor. V poli 3 jsme tlakovou rezervu ani nezajistili.

Návrh 1 samozřejmě dále posuzovat nebudeme, neboť by nevyhověl. Přesto u něj ještě zůstaneme.

Ztráty předpětí

Nevýhodou vícepolových mostů předepínaných v celku bývají zpravidla vyšší ztráty předpětí. To si můžeme potvrdit i zde, na naší konstrukci. Síla v nich se vlivem ztrát sníží uprostřed mostu téměř až na poloviční hodnoty. Následující graf je výstupem z programu SCIA, která zobrazení průběhu ztrát v kabelu nabízí.



Obrázek 43 V I N1: Ztráty napětí v předběžném ideálním kabelu

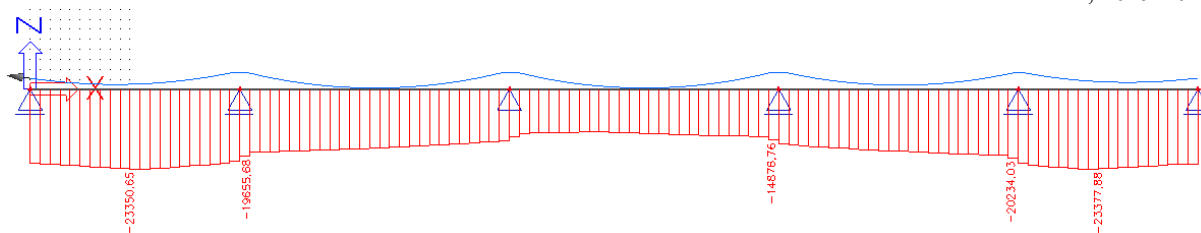
Tento problém bude zcela jistě vyžadovat nutnou úpravu tvaru kabelů s myšlenkou „šetření předpínací síly“ do středu konstrukce.

Složky předpětí

Pojďme se podívat na jednotlivé složky od předpětí. Snad z nich vyčteme užitečné informace. Předpínací účinky v konstrukci jsou tvořené svojí normálovou a momentovou složkou.

Normálová složka předpětí

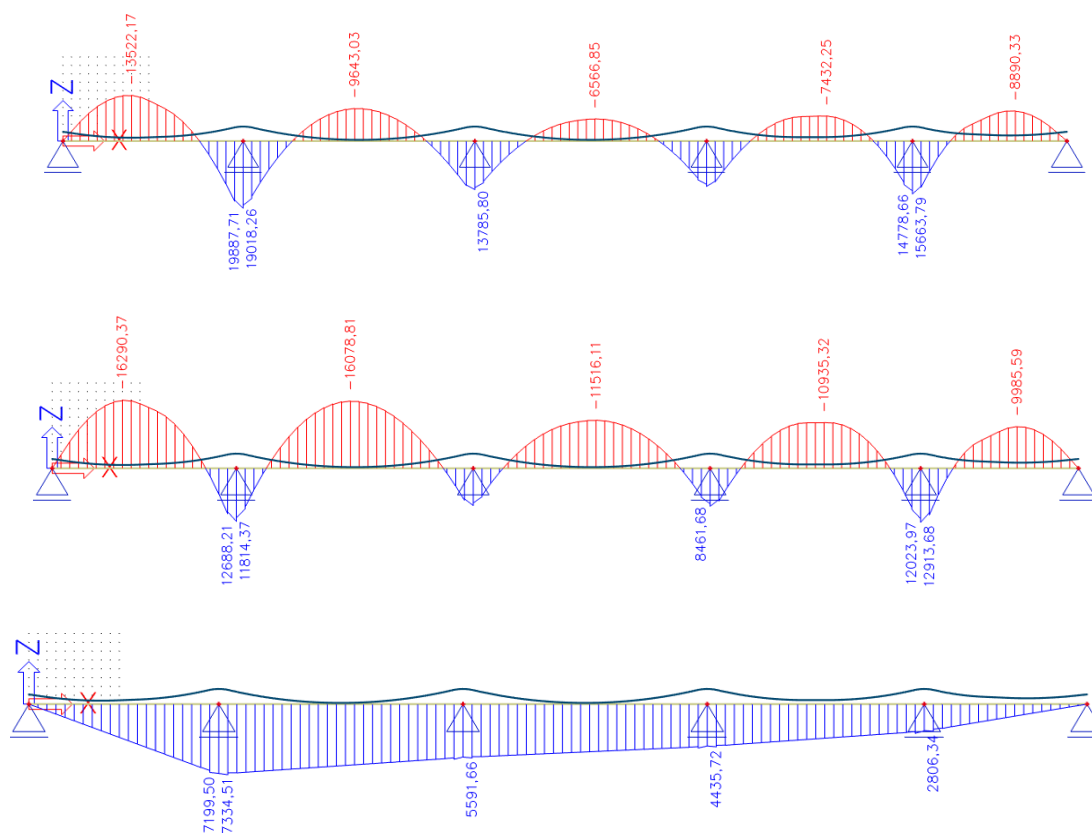
Změna velikosti normálové složky je čistě závislá na množství předpínací výztuže a napětí, které se v daném řezu nachází. V našem *návrhu 1* je její průběh po konstrukci následující.



Obrázek 44 VI N1: Normálová složka od předpětí (kN)

Rozdíl hodnot v krajním a prostředním poli zhruba o 12 MN je důsledkem oněch velkých ztrát předpětí.

Momentová složka od předpětí



Obrázek 45 VI N1: Ohybové momenty a jeho složky (První obrázek = výslednice složek M_y ; druhý obrázek = primární složka M_y ; třetí obrázek = sekundární složky M_y) (kNm)

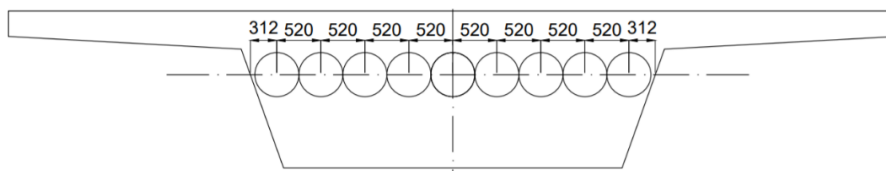
Z obrázků vidíme, že ohybové složky předpětí značně táhnou spodní vlákna v oblastech podpor. Tyto nadpodporové momenty jsou ve všech místech větší než momenty v polích. To znamená, že pouhé navýšení množství takto vedených kabelů by nevedlo k námi požadovanému výsledku. V polích bychom sice mohli dosáhnout požadovaných tlakových rezerv, nicméně stejnou intenzitou by vzrostly i tahy nad podporami. Navíc je tahová oblast v okolí podpor díky staticky neurčitým účinkům předpětí poměrně rozsáhlá, a proto ve velké části zasahuje značně do polí. S tímto poznatkem a pohledem na průběhy napětí v dokončené

konstrukci zjišťujeme, že v dalších návrzích musíme výrazně snížit excentricity nad podporami č. 2 a č. 5. Tím snížíme i ztráty předpětí, což se nám pro střední oblast mostu velice hodí. Nad podporami 3 a 4 snižovat nebudeme, neboť díky ztrátám zde nejsou tahové účinky tak velké a větší nadpodporové excentricity zvyšují předpínací účinky v polích.

Tlakové rezervy od předpětí v krajních polích jsou podstatně větší, než ve vnitřních. V dalších návrzích proto excentricity v krajních polích snížíme.

9.3.2 Návrh 2

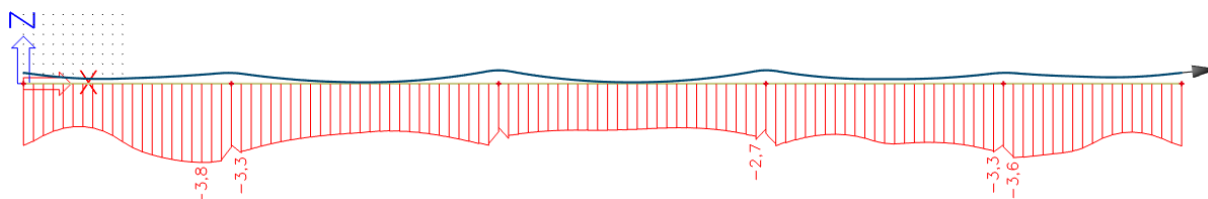
V tomto návrhu výrazně snížíme excentricity nad druhou a pátou podporou, trochu méně nad třetí a čtvrtou podporou. Zároveň lehce snížíme excentricity v krajních polích. Počet zvýšíme o polovinu. Z šesti kabelů po 19 lanech zvýšíme na 9 kabelů po 19 lanech. Takové množství kabelů lze stále kotvit v jedné rovině průřezu.



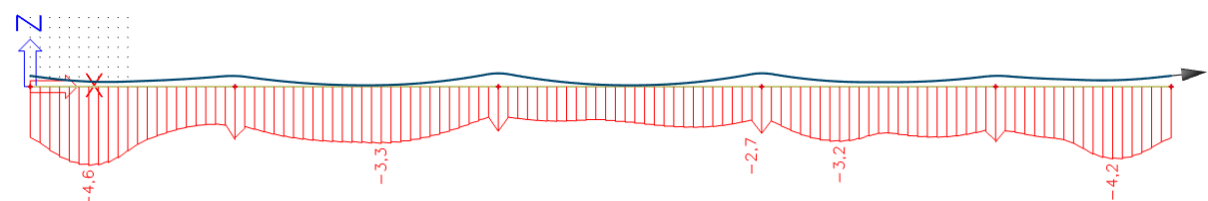
Obrázek 46 V I N2: rozložení kabelů v místě kotvení, 9 x 19 lan

Menší excentricity znamenají menší účinky polích, zároveň nižší ztráty předpětí. Snažíme se najít jakousi míru mezi snižováním účinků a snižováním ztrát v kabelu, neboť chceme využít předpínací výztuž co nejefektivněji. Tento návrh nejspíše nevyhoví, ale mohl by být pro nás lepším vodítkem pro návrhy další.

Sledování konstrukce - stavba

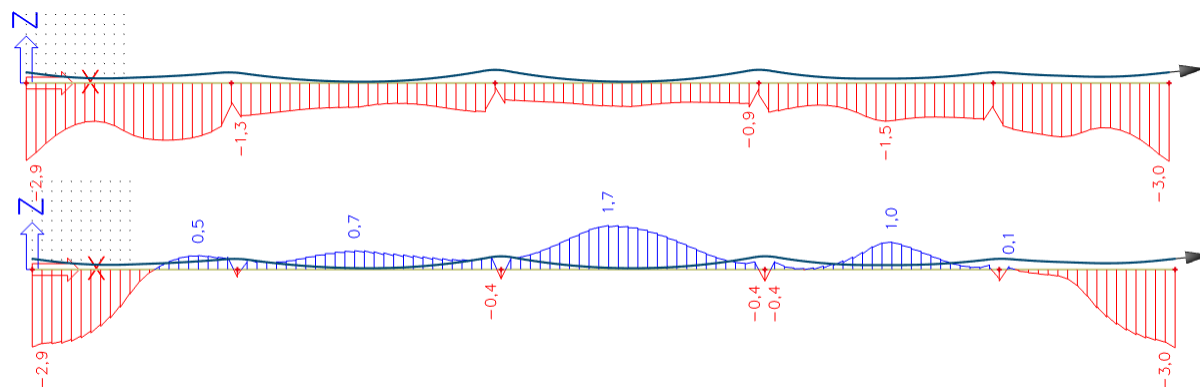


Obrázek 47 V I N2: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



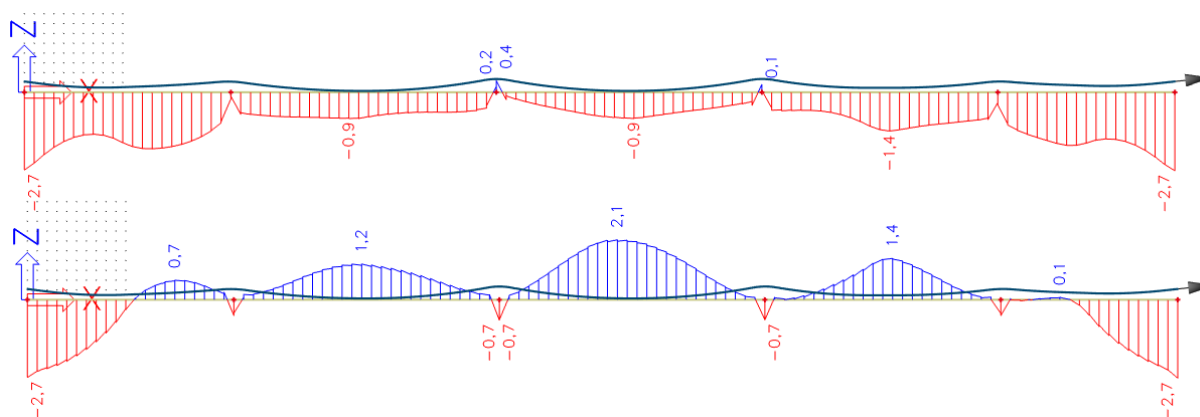
Obrázek 48 V I N2: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

Sledování konstrukce – uvedení do provozu



Obrázek 49 V I N2: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Sledování konstrukce – konec životnosti



Obrázek 50 V I N2: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Návrh opravdu nevyhoví. Nejspíš tahy uprostřed konstrukce takto nevytlačíme. Jedním typem kabelu se snažíme vyrovnat účinky ve všech vnitřních polích, zároveň musíme dost snižovat excentricity nad podporami. Zřejmě budeme muset přidat zcela další typ kabelu.

9.3.3 Návrh 3

V tomto návrhu se pokusíme zohlednit všechny problémy popsané v návrhu 1, případně návrhu 2. Nejvíce se ovšem zaměříme na problém velkých ztrát, které tolik snižují účinky ve středním poli. Prostřední pole je nejzatíženější, je nezbytné dovést předpínací účinky právě sem.

Z původních 6 19ti-lanových kabelů povedeme nyní 9 19-ti lanových, avšak ve dvou dráhách.

Dráha 1

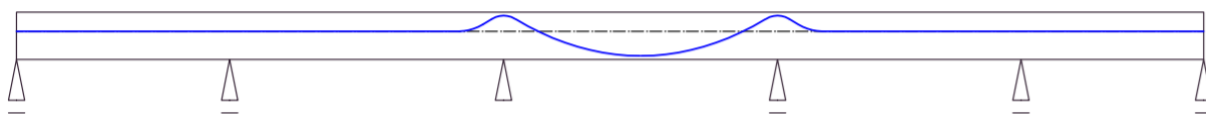
Kabely v první dráze budou mít přibližně shodnou geometrii s *návrhem N1*, pouze mírně upravíme jejich tvar v krajních polích. Použijeme jich 6 po 19 lanech.

Dráha 2

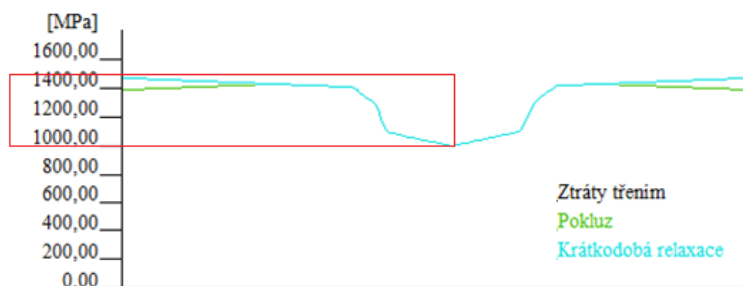
Speciální kabel – návrh 1

Při návrhu zohledníme velké ztráty a s nimi související kritickou střední oblast konstrukce (speciálně třetí pole). Chceme co nejvíce eliminovat ztráty – to zajistíme tak, že dráhu kabelu povedeme až do středu přímo, bez zakřivení. Zároveň ale chceme mít co nejvyšší účinky předpětí – nad podporami u 3. pole tak kabel zvedneme. Ve třetím poli pak už kabel co nejvíce zakřívíme, a to k maximální možné excentricitě ke spodním vláknům. Použijeme 3 kabely po 19 lanech.

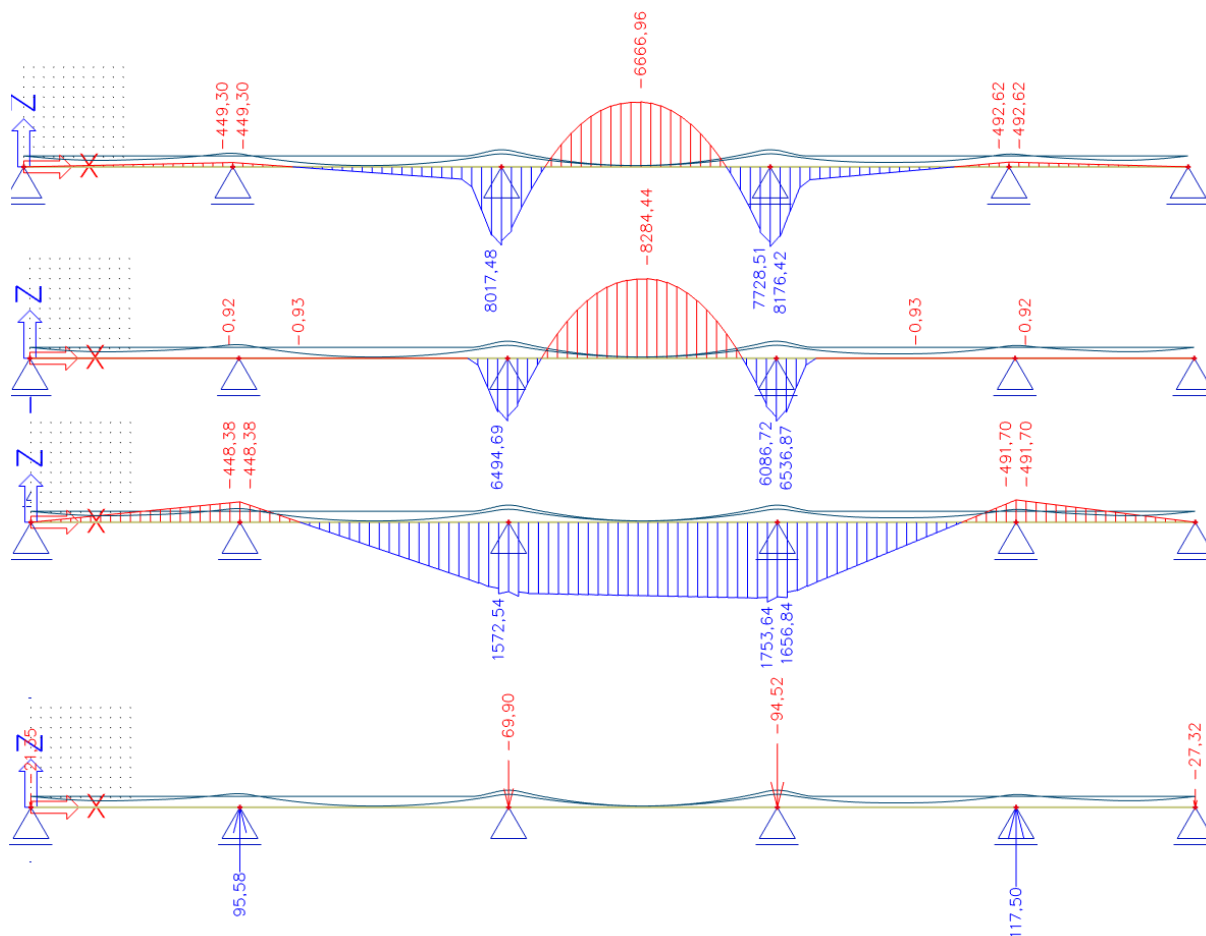
(*Poznámka:* Ve všech obrázcích této části jsou vykresleny hodnoty pouze od těchto tří kabelů, ačkoliv v nich jsou zobrazeny i kabely dráhy 1. V modelu jsou jejich počty nastaveny totiž skutečně na nulové!!!)



Obrázek 51 VI N3: Speciální kabel 1 pro pole 3



Obrázek 52 VI N3: Ztráty předpětí ve speciálním kabelu 1

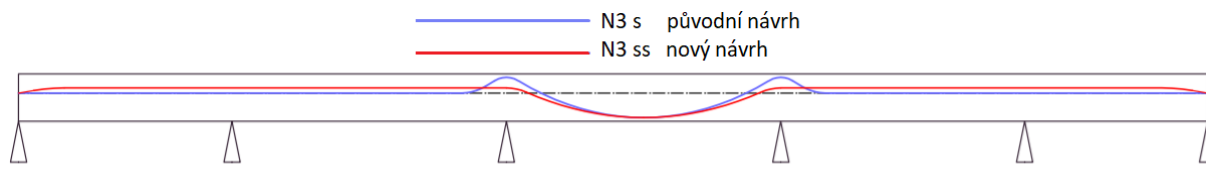


Obrázek 53 V I N3: Speciální kabel 1 - Ohybové momenty a jeho složky (První obrázek = výslednice složek M_y ; druhý obrázek = primární složka M_y ; třetí obrázek = sekundární složka M_y) (kNm)

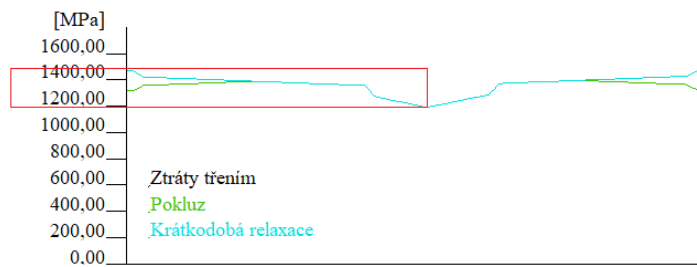
Průběhy momentů od speciálního kabelu působí pro spodní vlákna příznivě v prostředním poli a v krajních polích. Někdy však působí opět nad 3. a 4. podporou. Dále nás také znepokojují ztráty předpětí, které se pokusíme více eliminovat.

Speciální kabel – návrh 2

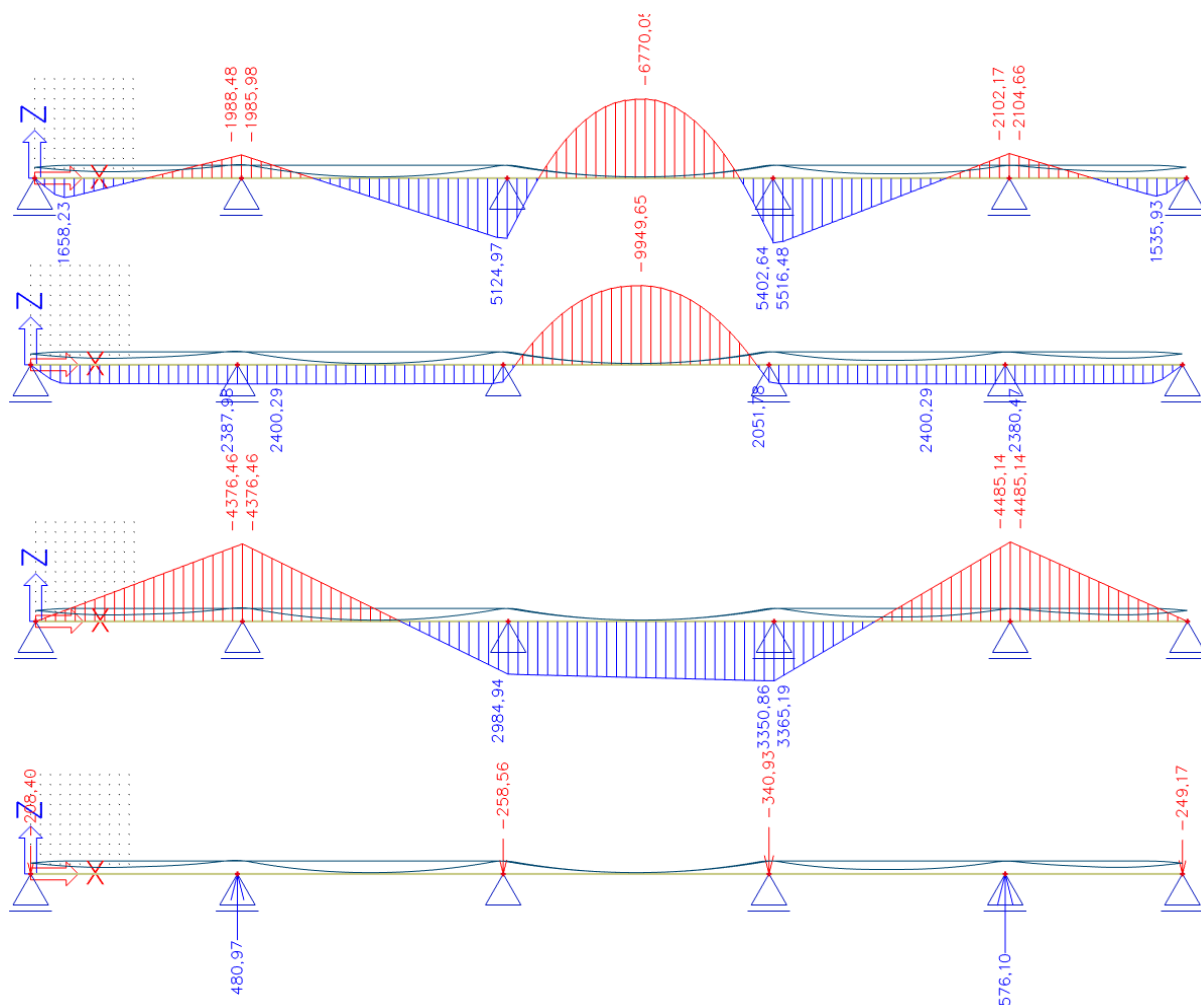
Návrh „ideálního kabelu pro pole 3“ upravíme. Celý kabel povedeme ve větší horní vzdálenosti od těžiště.



Obrázek 54 V I N3: Speciální kabel 2 pro pole 3



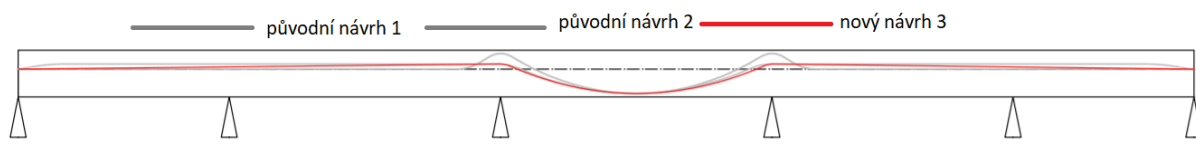
Obrázek 55 V I N3: Ztráty předpětí speciálního kabelu 2



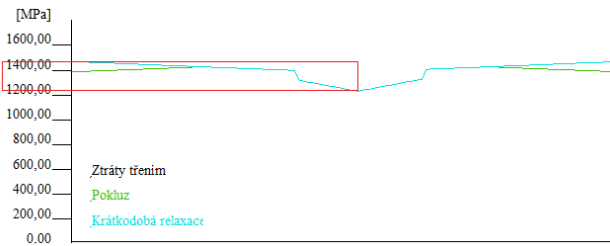
Obrázek 56 V I N3: Speciální kabel 2 - Ohybové momenty a jeho složky (První obrázek = výslednice složek M_y ; druhý obrázek = primární složka M_y ; třetí obrázek = sekundární složky M_y) (kNm)

Ztráty se nám podařilo redukovat, zkusíme ještě vylepšit momentovou složku předpětí.

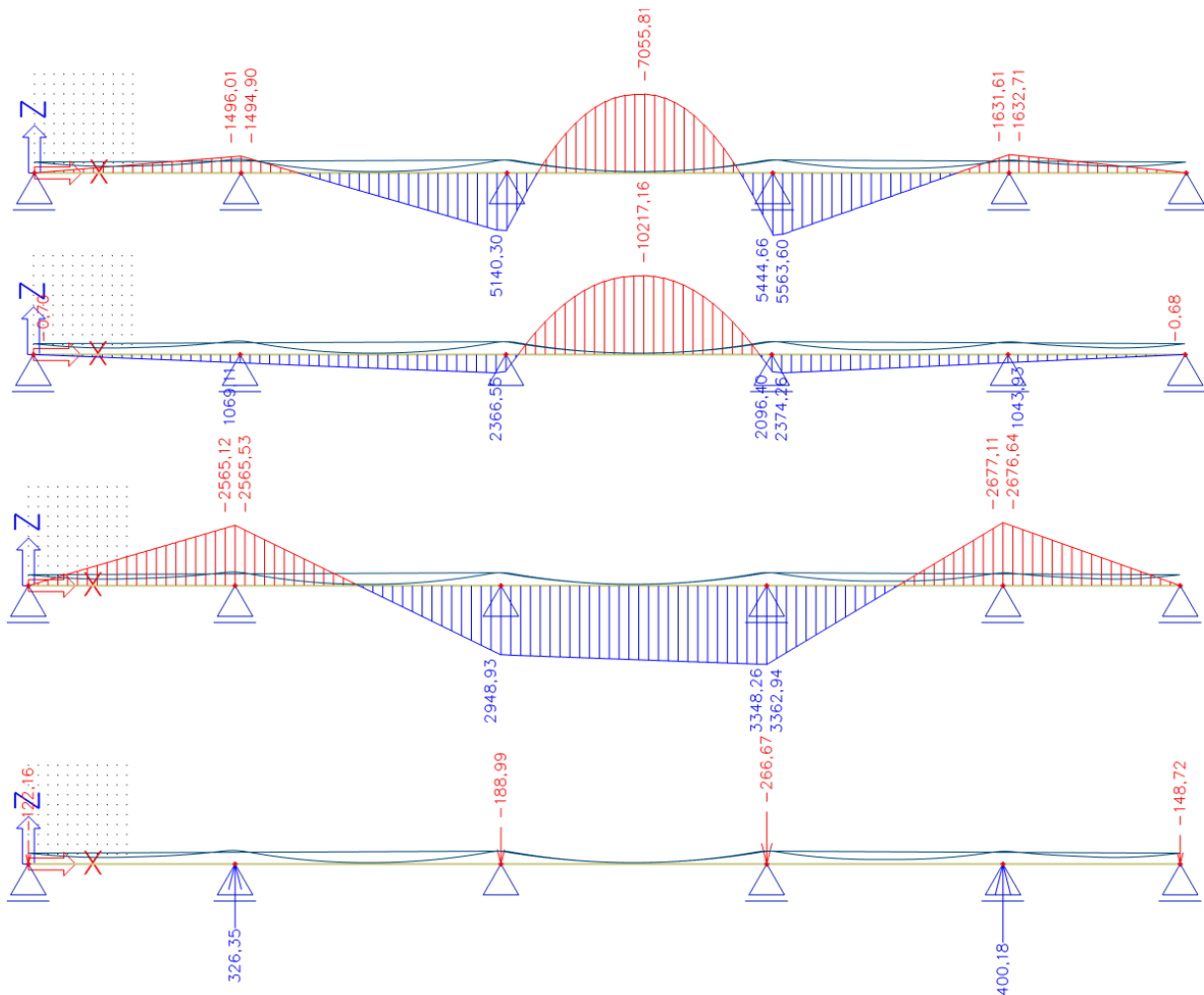
Speciální kabel – návrh 3



Obrázek 57 V I N3: Speciální kabe 3 pro pole 3



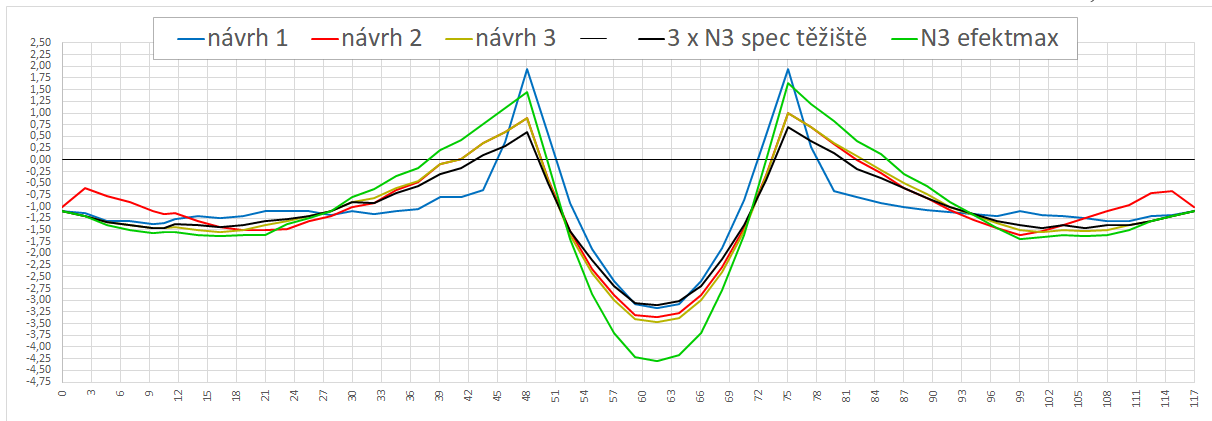
Obrázek 58 V I N3: Ztráty předpětí speciálního kabelu 3



Obrázek 59 V I N3: Speciální kabel 3 - Ohybové momenty a jeho složky (První obrázek = výslednice složek M_y ; druhý obrázek = primární složka M_y ; třetí obrázek = sekundární složka M_y) (kNm)

Momentovou složku jsme příliš nevylepšili. Získali jsme sice mírně lepší hodnoty v prostření poli a také v obou krajních polích, nicméně si kabelem stále vytváříme nemalé kladné momenty ve druhém a čtvrtém poli.

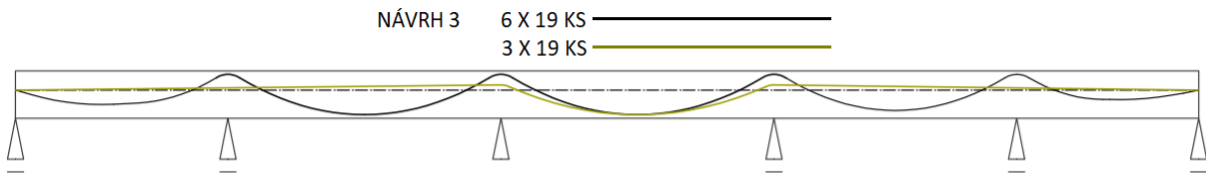
V následujícím grafu jsou vykresleny hodnoty napětí v dolních vláknech, které vyvolají vždy 3 kabely po 19 lanech konkrétního tvaru (57 lan).



Obrázek 60 V I N3: Hodnoty napětí v dolních vláknech od 57 lan speciálního kabelu

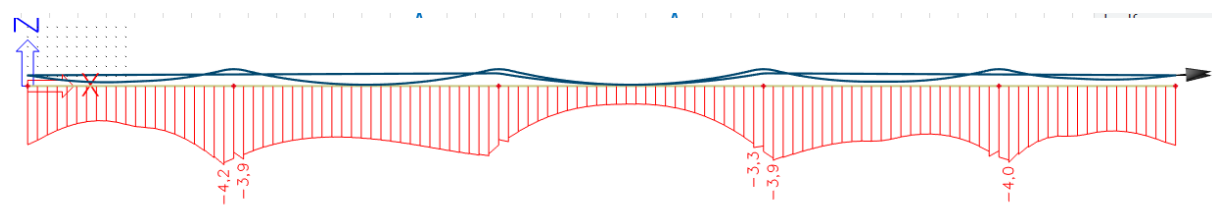
Vybereme si třetí kabel (z návrhu 3). Rozhodnutí vychází především z pohledu na napětí v místech středních podpór a třetího pole. Tak se nám podařilo získat poměrně účinný kabel pro prostřední pole. Excentricity nad středními podporami nechce záměrně dávat vyšší, neboť očekáváme, že budou potřeba pro efektivnost ostatních kabelů, k sousedním vnitřním polím. (Ideální kabel pro třetí pole, s označením N3 EfektMax právě proto nepoužijeme.)

Ve třetím návrhu tedy volíme zmíněné běžné kabely po 6 kusech s 19 lany, dále 3 kusy speciálního kabelu, též po 19 lanech.

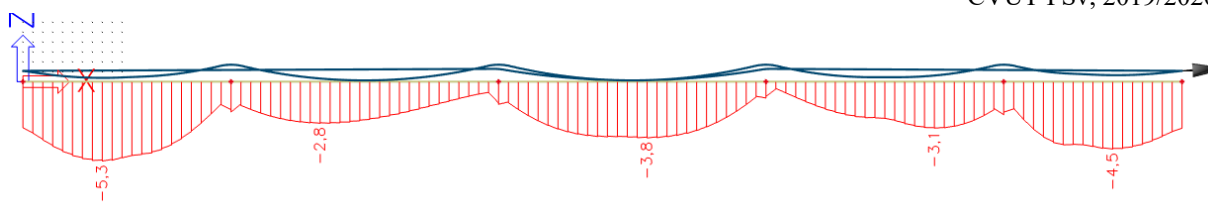


Obrázek 61 V I N3: Schéma kabelů

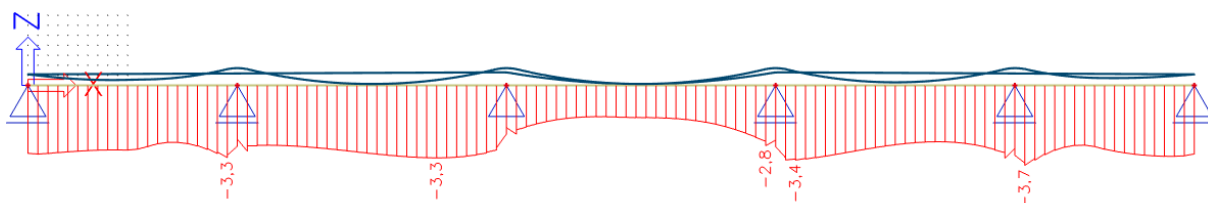
Sledování konstrukce – stavba



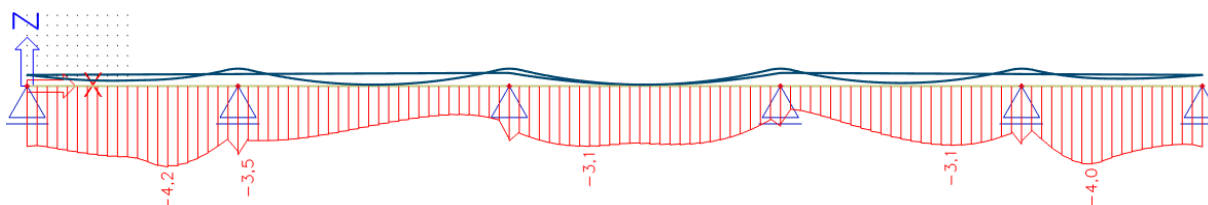
Obrázek 62 V I N3: Napětí v horních vláknech průřezu po odbednění (MPa)



Obrázek 63 VI N3: Napětí v dolních vláknech průřezu po odbednění (MPa)

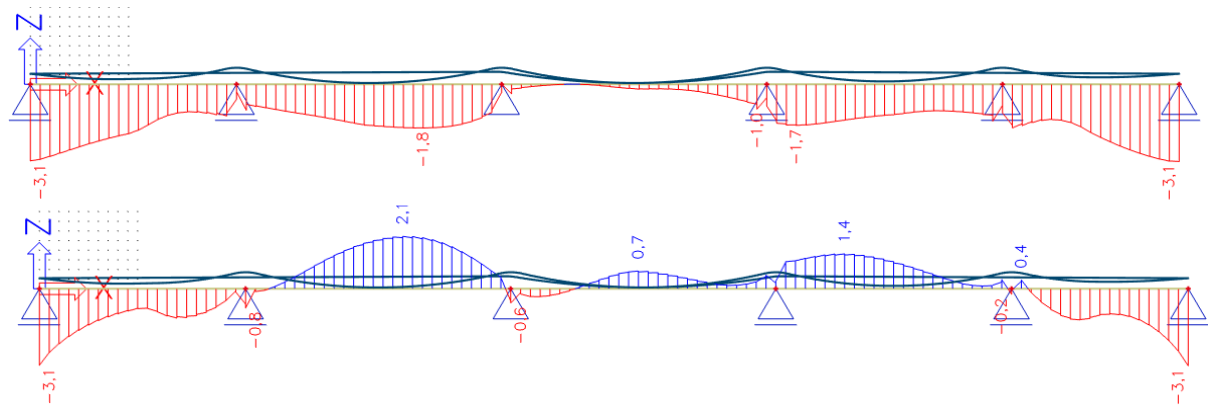


Obrázek 64 VI N3: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



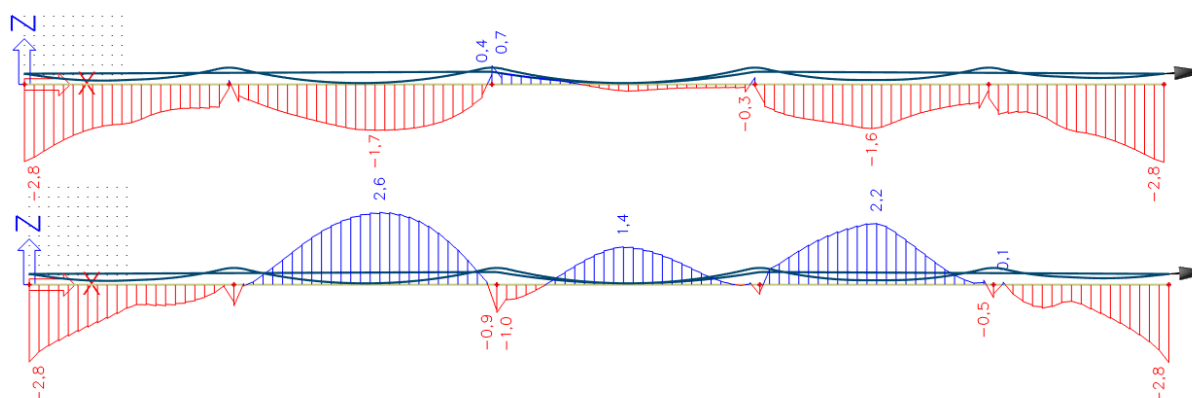
Obrázek 65 VI N3: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

Sledování konstrukce – uvedení do provozu



Obrázek 66 VI N3: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Sledování konstrukce – konec životnosti



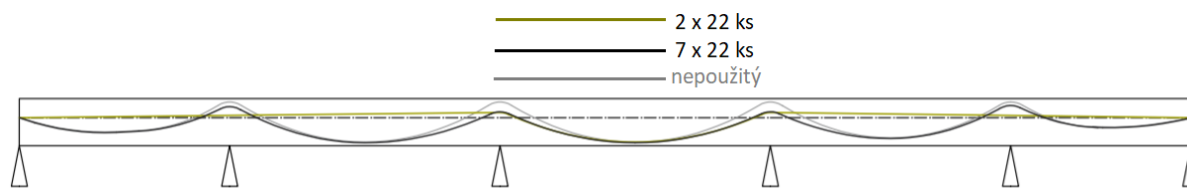
Obrázek 67 V I N3: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Konstrukce sice při výstavbě vyhoví, v provozu však nikoliv. Schéma napětí na dokončené konstrukci a při časté kombinaci zatížení jasně poukazuje na nutnost snížení excentricit nad středními podporami, snížení množství speciálního kabelu, neboť ten (konkrétně jeho staticky neurčitá složka účinků) způsobuje nevhodné schéma tlakové rezervy ve druhém a čtvrtém poli. Tím pomůžeme i horním vláknům v prostředním poli, kde jsme momentálně tlakové rezervy skoro vyčerpali. Vedení kabelů v dráze 1 snížíme i nad zbylými vnitřními podporami. V krajních polích můžeme excentricity také mírně snížit, neboť tlaky jsou v nich dostatečně velké, a to v dalších návrzích množství předpínací výztuže ještě zvýšíme.

9.3.4 Návrh 4

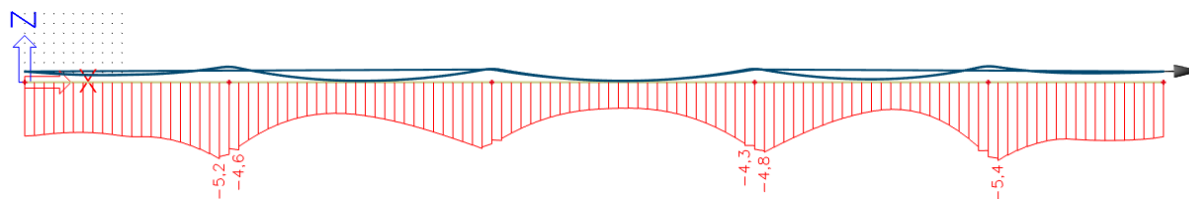
Změny u speciálního kabelu jsou provedeny pouze snížením množství z tří 19-lanových kusů na dva 22-lanový.

Změny u běžného typu kabelu jsou: snížení excentricit nad podporami, posun bodu polygonu ve druhém poli směrem k pravé podpoře, posun bodu polygonu ve čtvrtém poli směrem k levé podpoře, zvětšení množství výztuže – z 6x19 (=114 lan) na 7x22 (=154 lan).

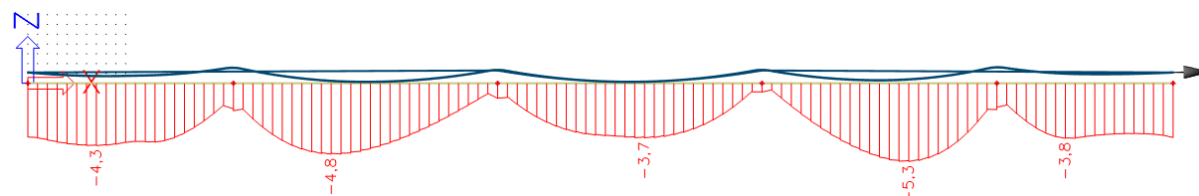


Obrázek 68 V I N4: Schéma kabelů

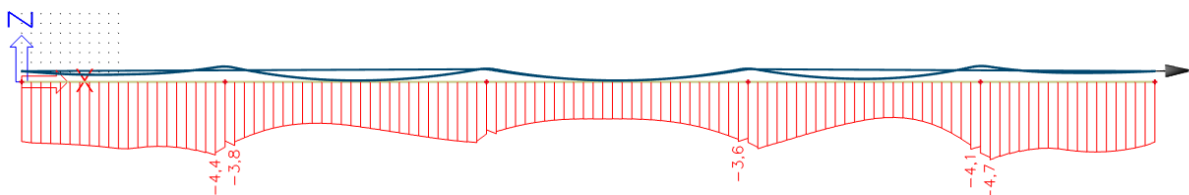
Sledování konstrukce – stavba



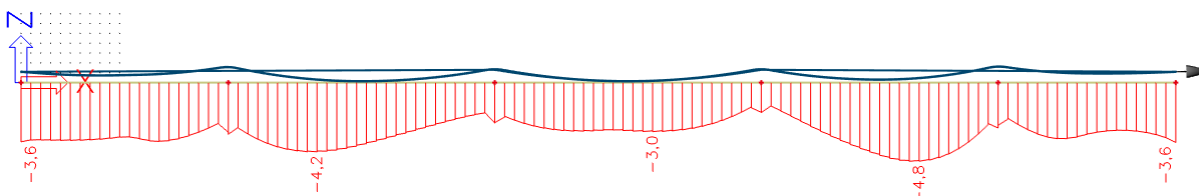
Obrázek 69 V I N4: Napětí v horních vláknech po odbednění (MPa)



Obrázek 70 V I N4: Napětí v dolních vláknech po odbednění (MPa)

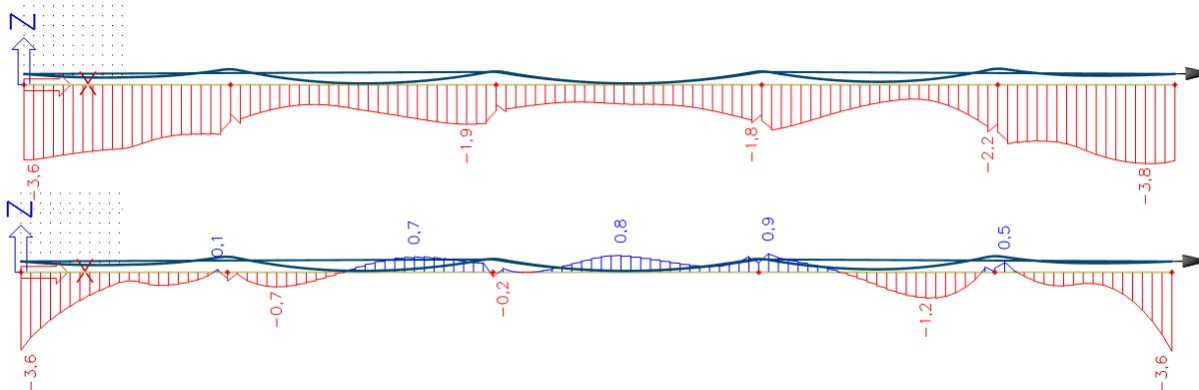


Obrázek 71 V I N4: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



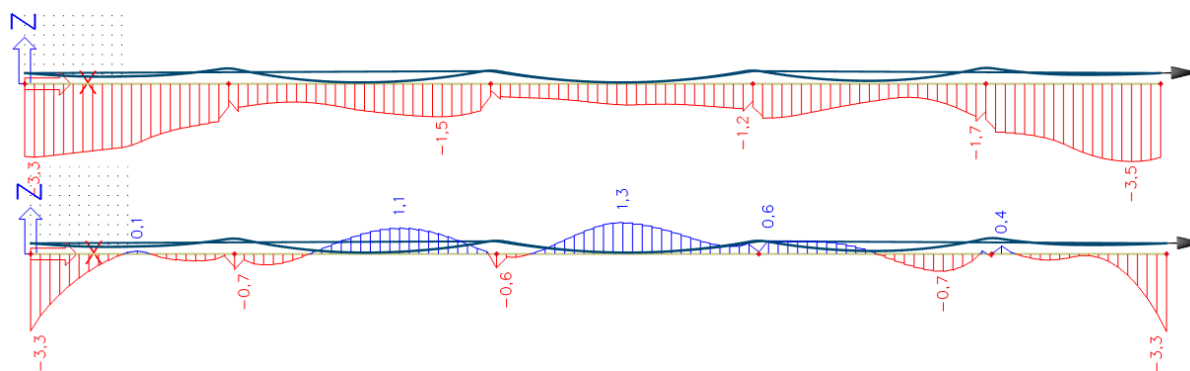
Obrázek 72 V I N4: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

Sledování konstrukce – konec životnosti



Obrázek 73 V I N4: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Sledování konstrukce – uvedení do provozu

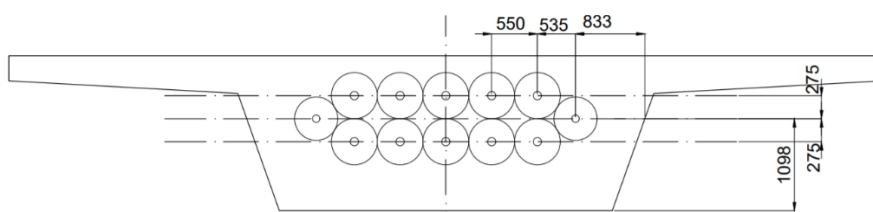


Obrázek 74 V I N4: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Konstrukce ve fázích výstavby vyhoví, v provozu opět nevyhoví. V dalších úpravách se však stále budeme držet stejné myšlenky - neustálé mírné snižování poloh kabelů nad podporami, snižování poloh kabelů v krajních polích, hledání vhodného poměru obou typů kabelů.

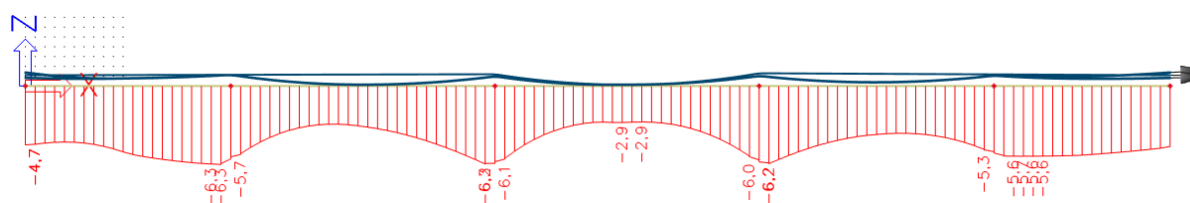
9.3.5 Návrh 5

Po mnoha drobných úpravách popsanych v minulém návrhu jsme nakonec konečný počet kabelů zvýšili na 10 dvaadvacetilanových běžných kabelů *dráhy 1*, 2 devatenáctilanové speciální kabely *dráhy 2*. Došlo i k mírné úpravě speciálního kabelu, a to ke snížení excentricity nad třetí podporou.

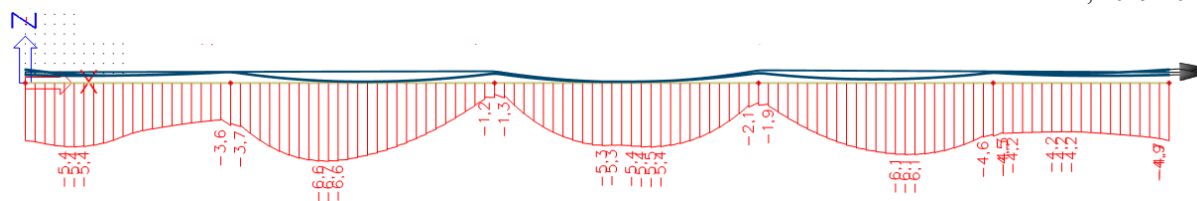


Obrázek 75 V I N5: rozložení kabelů v místě kotvení, 9 x 19 lan

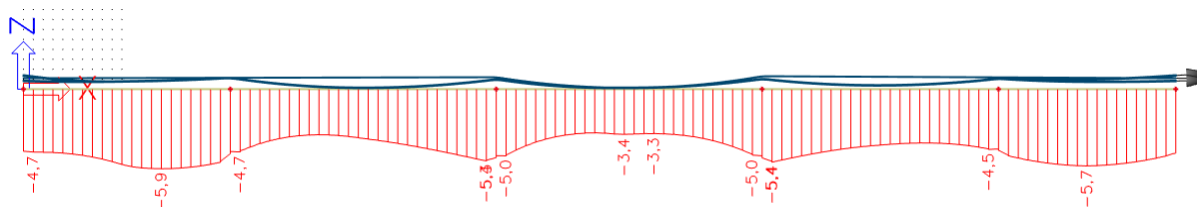
Sledování konstrukce – stavba



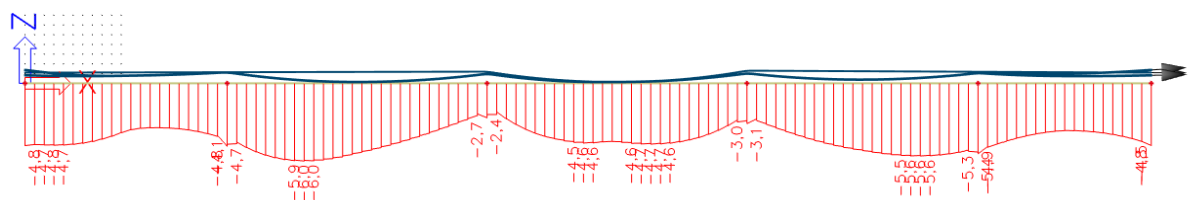
Obrázek 76 V I N5: Napětí v horních vláknech po odbednění (MPa)



Obrázek 77 V I N5: Napětí v dolních vláknech po odbednění (MPa)

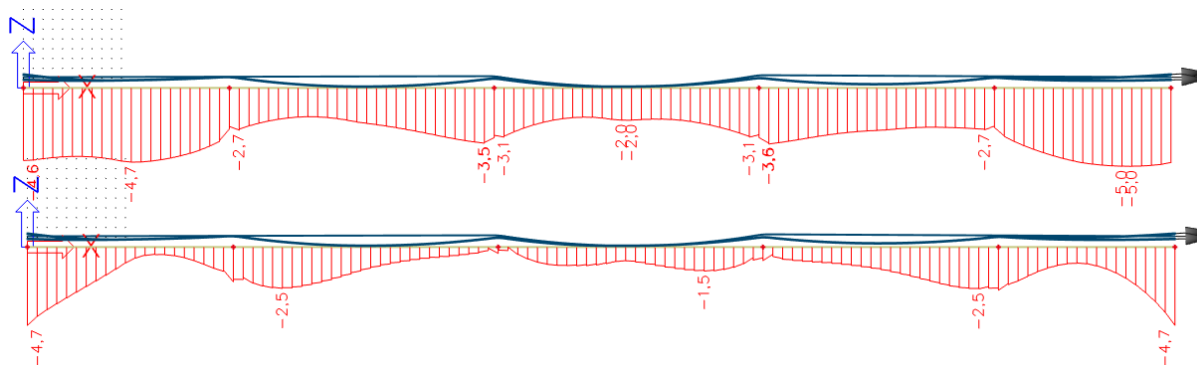


Obrázek 78 V I N5: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



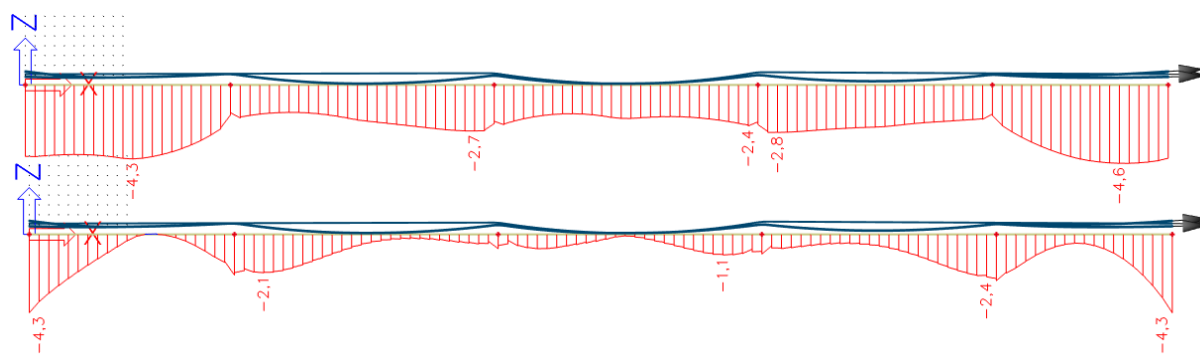
Obrázek 79 V I N5: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

Sledování konstrukce – uvedení do provozu



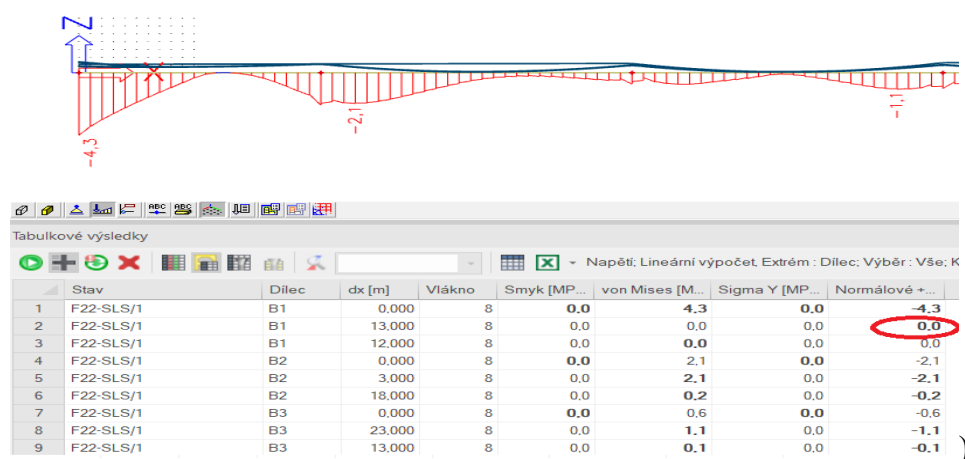
Obrázek 80 V I N5: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Sledování konstrukce – konec životnosti



Obrázek 81 V I N5: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

(Poznámka: Hodnoty v krajních polích při časté kombinaci na konci životnosti jsou skutečně nulové, ač z grafu není jasné, proto dokládám část tabulky výsledků ze SCIA ENGINEERING.



Obrázek 82: Screen výsledků ze SCIA (KŽ ČAST)

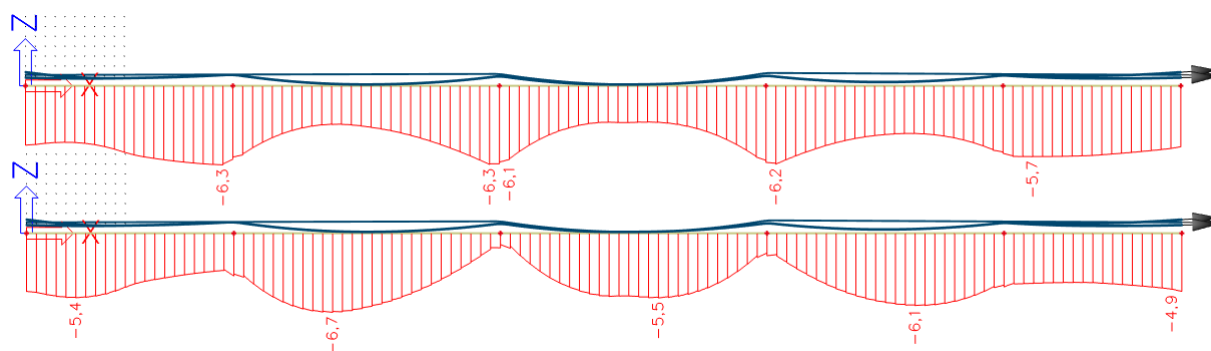
Návrh nám vyhoví ve výstavbě i v provozu u časté kombinace. Proto tento návrh kompletně posoudíme dle podmínek MSP a při úspěšném vyhodnocení ho necháme jako definitivní.

9.4 Posouzení MSP

V posudku uvažujeme s omezením napětí a omezení trhlin. Požadované maximální a minimální hodnoty jsme si uvedli již na začátku této varianty. V následujících odstavcích budou vykresleny jednotlivé kombinace při uvedení do provozu a na konci životnosti konstrukce, budou připomenuty limitní hodnoty a získané maximální (minimální) hodnoty v naší konstrukci. Posouzena bude konstrukce s předpětím dle *návrhu 5*.

9.4.1 Posouzení konstrukce MSP – výstavba

Předepnutí a odepnutí

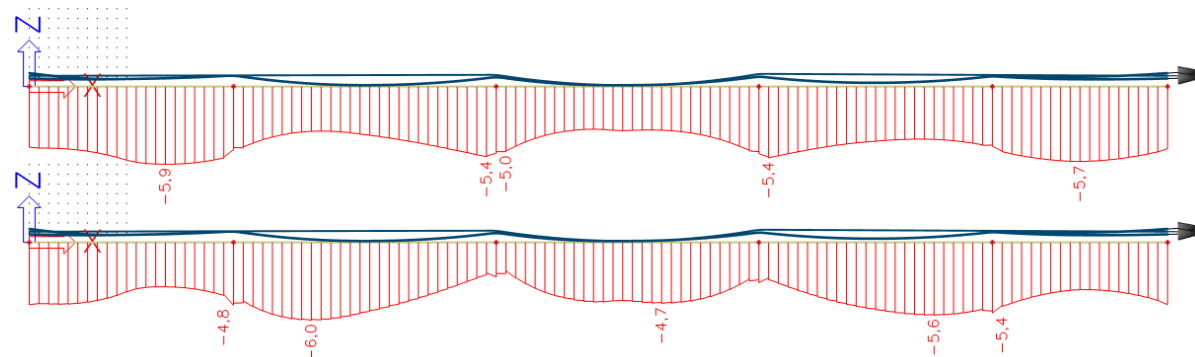


Obrázek 83 V I: POSOUZENÍ MSP - Fáze výstavby – předepnutí a odbednění – horní a dolní vl. průřezu (MPa)

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	2,37	nevzniká	-	-	vyhoví
σ_{lim}^-	-13,27	-6,7	dolní	2. pole	Vyhoví

Tabulka 20 V I: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby

Dokončení stavby po vnesení ostatního stálého zatížení



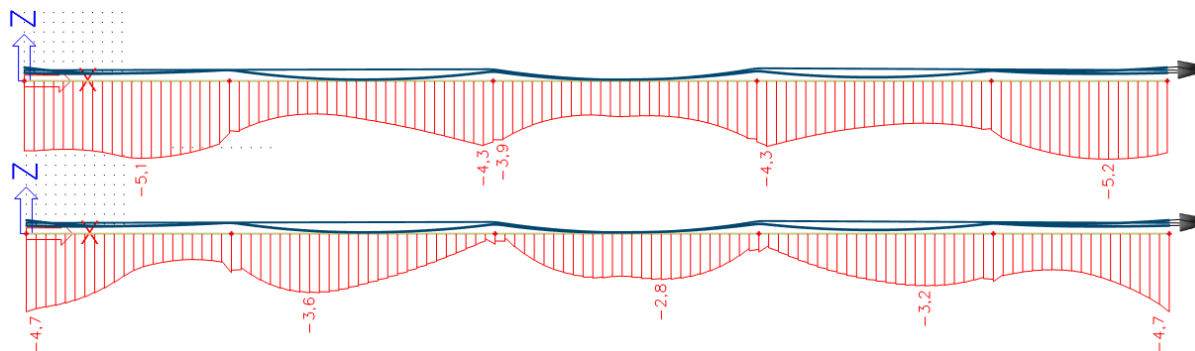
Obrázek 84 V I: POSOUZENÍ MSP - Fáze výstavby – dokončení stavby po vnesení ost.st.z. – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	2,9	nevzniká	-	-	vyhoví
σ_{lim}^-	-18	-6,0	dolní	2. pole	Vyhoví

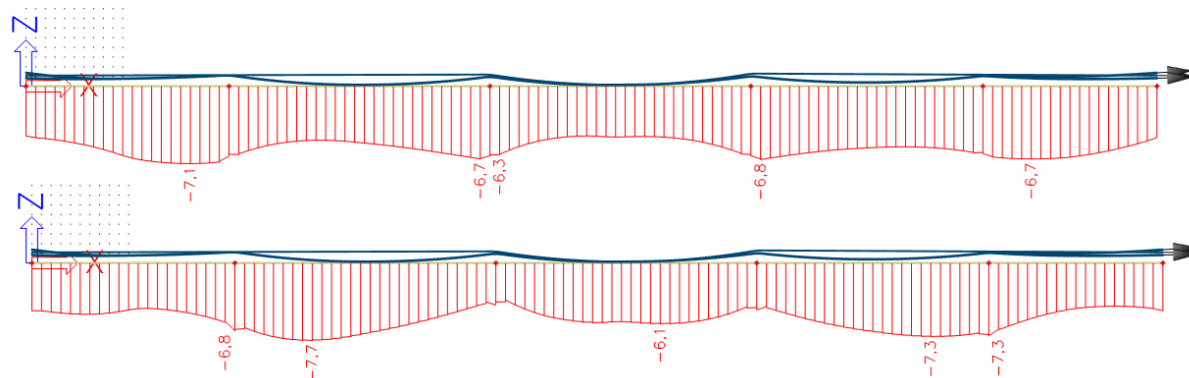
Tabulka 21 V I: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby

9.4.2 Posouzení konstrukce MSP – uvedení do provozu

Kvazistálá kombinace



Obrázek 85 V I: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

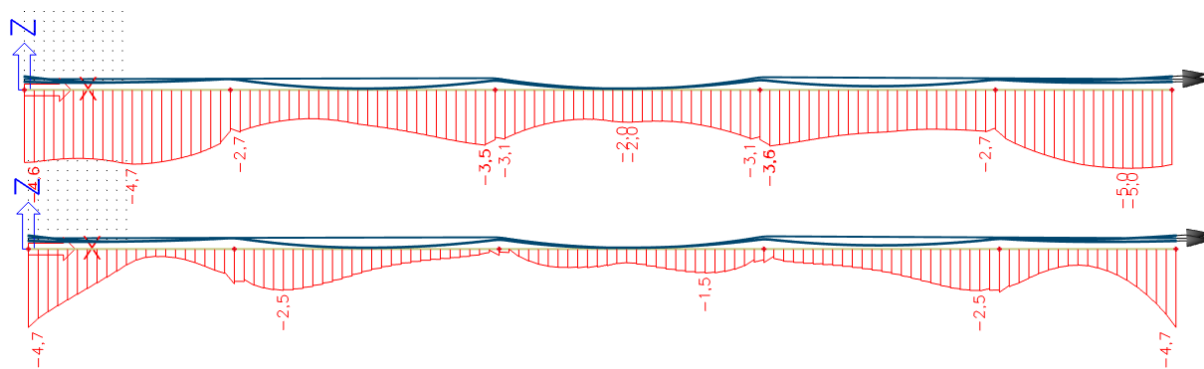


Obrázek 86 V I: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

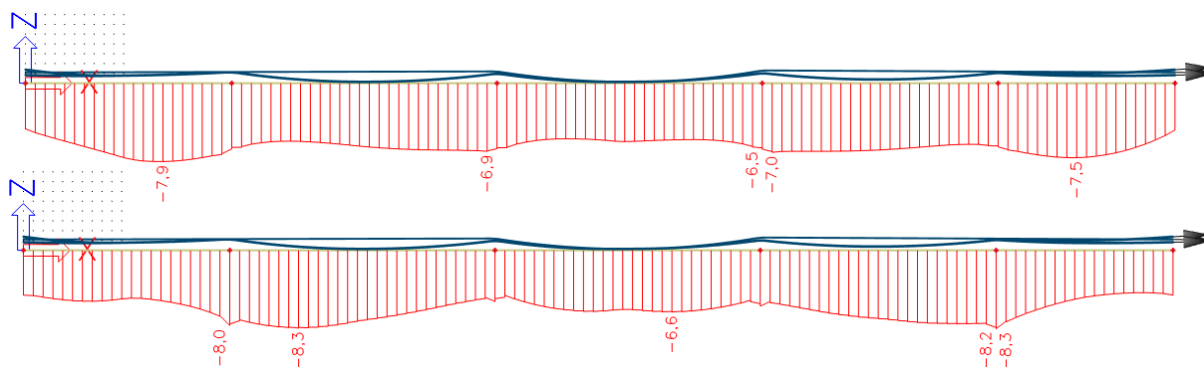
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	nevzniká	-	-	-
σ_{lim}^-	-13,5	-7,7	dolní	2. pole	Vyhoví

Tabulka 22 V I: POSOUZENÍ MSP – UP KVAZ

Častá kombinace



Obrázek 87 V I: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

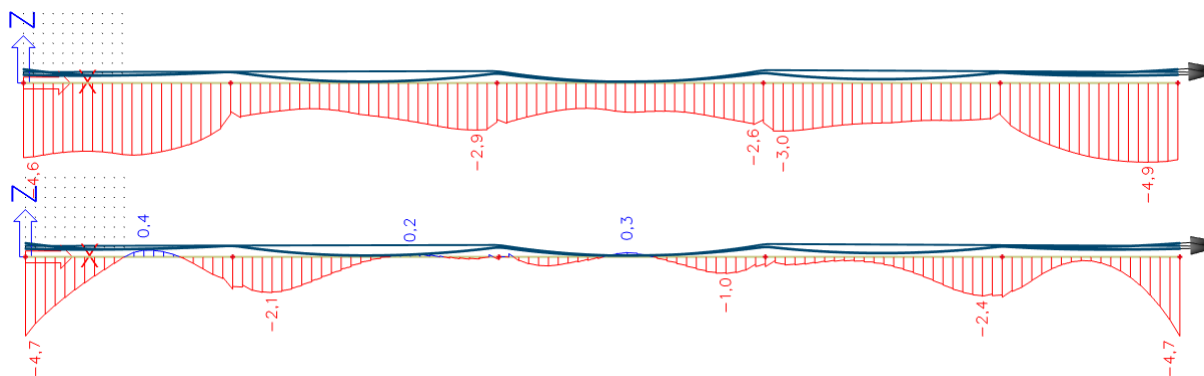


Obrázek 88 V I: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

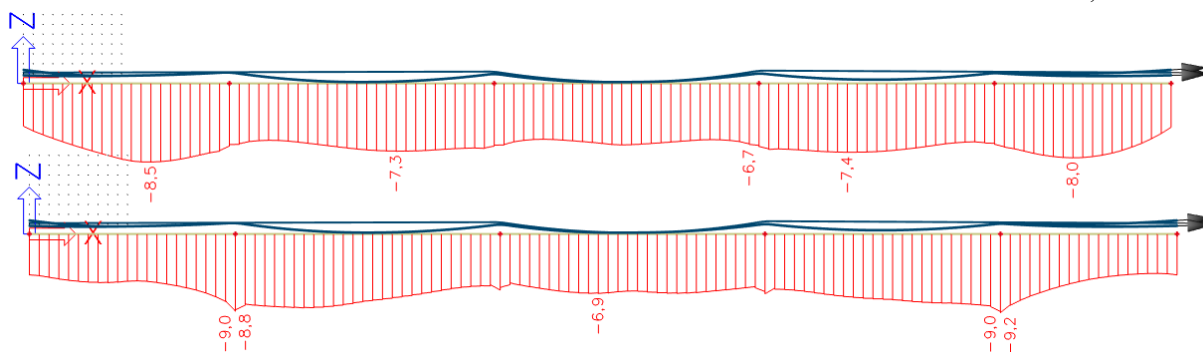
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	nevzniká	-	-	vyhoví
σ_{lim}^-	X (30)	-8,3	dolní	2.pole	Vyhoví

Tabulka 23 V I: POSOUZENÍ MSP – UP ČAST

Charakteristická kombinace



Obrázek 89 V I: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)



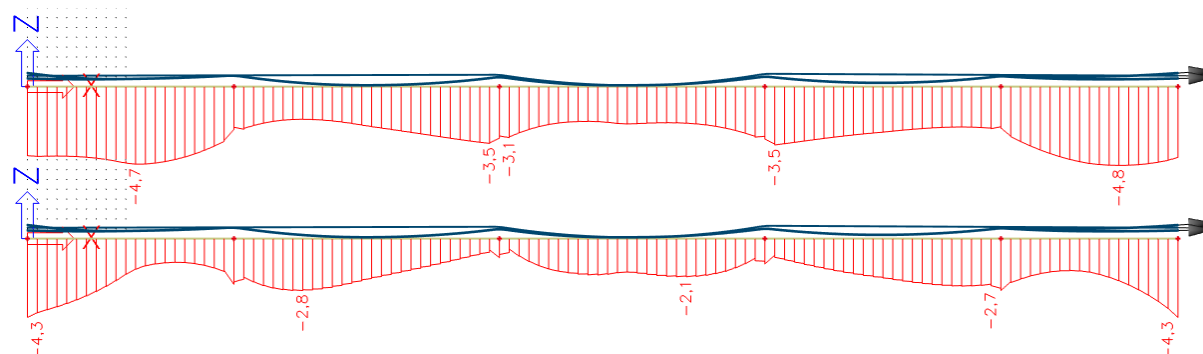
Obrázek 90 V I: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	X (2,9)	0,4	dolní	1.pole	vyhoví
σ_{lim}^-	-18	-9,2	dolní	5.podpora	Vyhoví

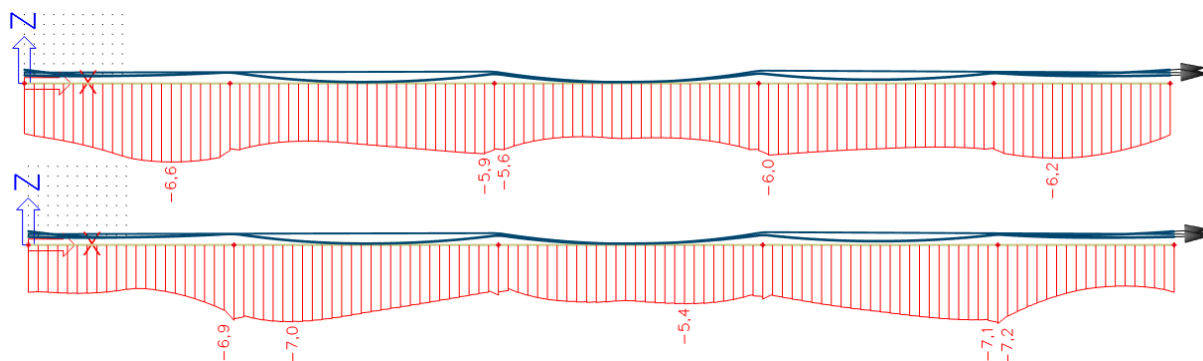
Tabulka 24 V I: POSOUZENÍ MSP – UP CHAR

9.4.3 Posouzení konstrukce MSP – konec životnosti

Kvazistálá kombinace



Obrázek 91 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

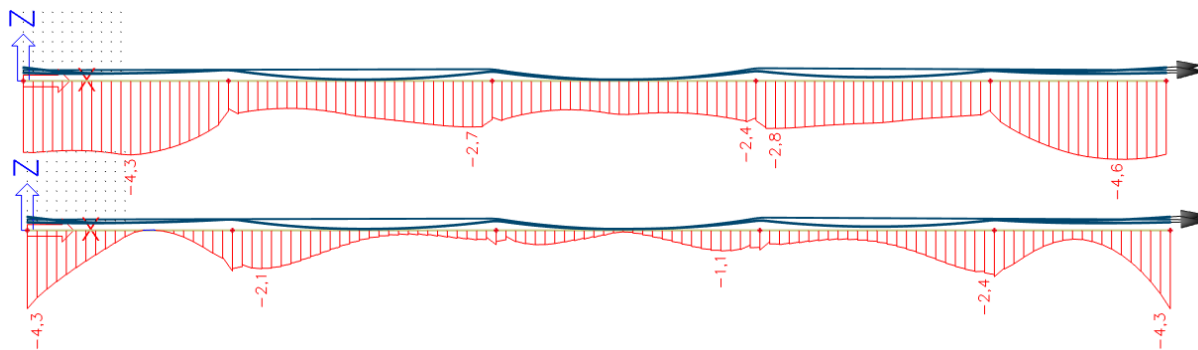


Obrázek 92 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

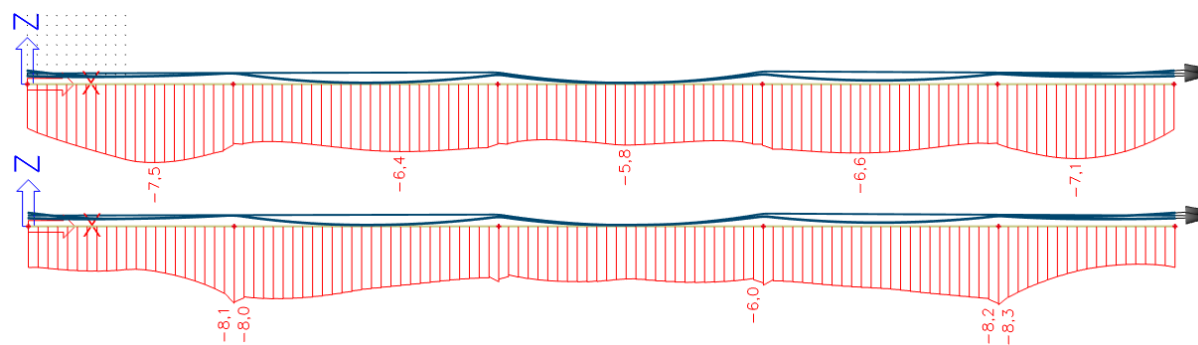
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	nevzniká	-	-	-
σ_{lim}^-	-13,5	-7,2	dolní	5. podpora	Vyhoví

Tabulka 25 V I: POSOUZENÍ MSP – KŽ KVAZ

Častá kombinace



Obrázek 93 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

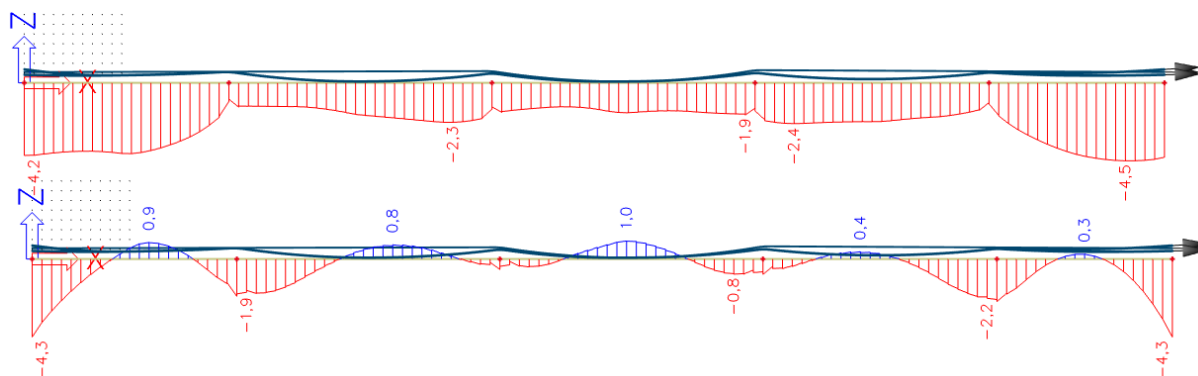


Obrázek 94 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

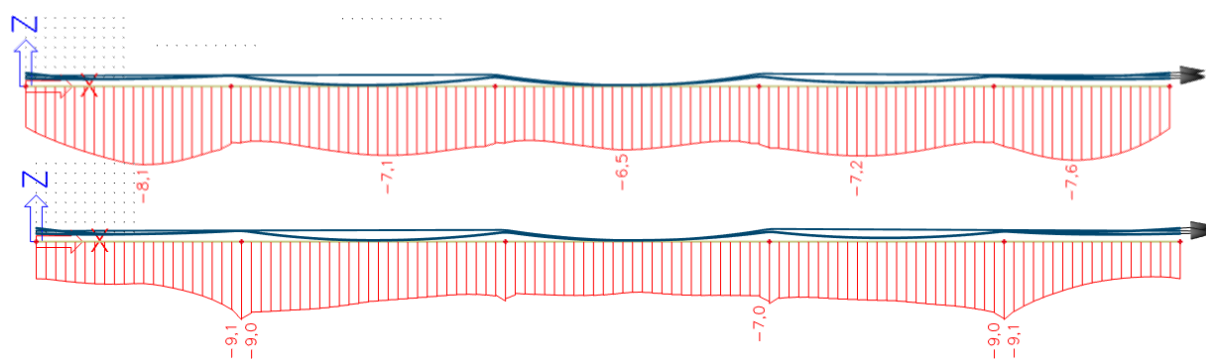
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	0	0	1.pole	vyhoví
σ_{lim}^-	X (30)	-7,2	dolní	5.podpora	Vyhoví

Tabulka 26 V I: POSOUZENÍ MSP – KŽ ČAST

Charakteristická kombinace



Obrázek 95 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)



Obrázek 96 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	X (2,9)	1,0	dolní	3.pole	vyhoví
σ_{lim}^-	-18	-9,1	dolní	2. a 5.podpora	Vyhoví

Tabulka 27 V I: POSOUZENÍ MSP – KŽ CHAR

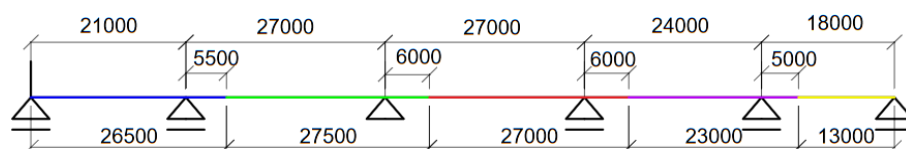
KONSTRUKCE S NAVRŽENÝM PŘEDPĚTÍM ČÍSLO 5 VYHOVÍ.

10 VARIANTA II: PEVNÁ SKRUŽ PŘESTAVOVANÁ PO POLÍCH KCE

Jako druhou variantu si zvolíme pevnou skruž přestavovanou po každém poli, což minimálně v tuto chvíli vnímáme jako opačný případ vůči celé skruži. V ní jsme se museli vypořádat s rozsáhlými ztrátami předpětí, které se v konstrukci nemohly „doplnit“. Nyní se tomuto stěžejnímu problému vyhneme, neboť konstrukci budeme předepínat pětkrát, a to za každým polem. Na druhou stranu, ve variantě *VI* jsme museli celkem rapidně snižovat výšky kabelů nad středními podporami, mezi nimiž jsme potřebovali vyvolat nutné množství tlaku ve třetím poli. Uvidíme, jak se problém bude vyvíjet zde. Přece jenom, za každou podporou vnášíme obrovské množství síly, které může tahy spodních vláken u podpor zintenzivnit.

10.1 Model konstrukce

Konstrukce je tedy rozdělena na pět částí, pracovní spáry jsou vždy zvoleny v $0,2 \cdot$ násobku příslušného pole, které odpovídají polohám nulových momentů od vlastní tíhy mostu. Jinak je model konstrukce totožný s předchozí variantou, malá změna je pouze s podporou typu pevného kloubu, která je pro první fázi betonování dočasně umístěna na začátek konstrukce, ve druhé fázi betonování je pak trvale umístěna do středu konstrukce.



Obrázek 97 *VI*: Rozmístění spár

Předpětí a konstrukční zásady

V prvních návrzích povedeme pouze dvě dráhy kabelů, proto ve výpočetním modelu nadefinujeme zatím jednotlivě 6 kabelů s přiřazením k jednotlivým částem konstrukce.



Obrázek 98 *VI*: Dráhy kabelů

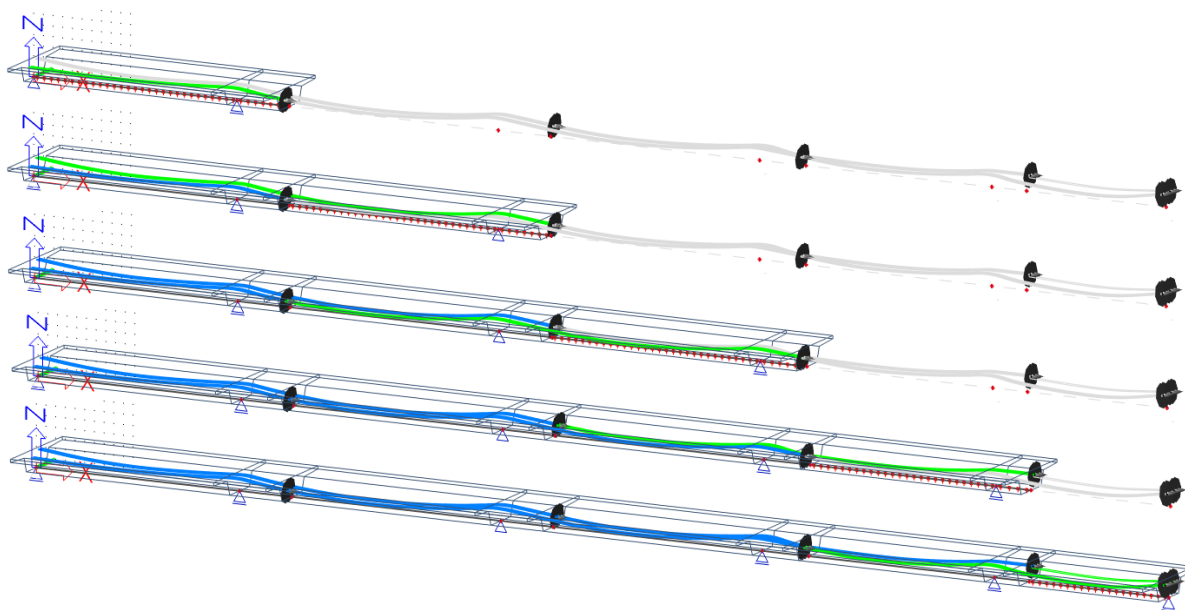
V pracovní spáře bude spojovaná vždy jen polovina kabelů, druhá polovina bude průběžná. V případě provedení detailní analýzy kotevních oblastí bychom mohli spojovat až dvě třetiny kabelů. My ji však provádět nebudeme, proto zůstaneme u přísnějšího omezení pro výstavbu.

Napínání bude prováděno vždy z konce vykonzolovaného čela úseku. Pokud bychom však zvládli navrhnout kabely tak, abychom v krajních polích mohli zredukovat množství výztuže, mohli bychom využít možnosti napínání z obou konců konstrukce při napínání druhého úseku konstrukce (více síly při nižším počtu lan).

Konstrukční zásady jsme již několikrát zmínili. Zde si snad navíc musíme uvědomit, že v každé spáře musíme zajistit minimální osové vzdálenosti kabelů pro přístup napínací pistole. Při použití kabelů s 19 lany je jejich minimální osová vzdálenost 520 mm, od kraje pak musí být prostor alespoň 260 mm. Při použití 22-lanových kabelů jsou rozměry 550 mm, respektive 275 mm. S jinými kabely v tuto chvíli nepočítáme.

Zatěžovací stavy a fáze výstavby

Na následujícím obrázku je schéma výstavby, kde jsou zelenou barvou vyznačeny právě předepnuté kabely v příslušné fázi předpínání.



Obrázek 99 V II: Schéma výstavby

Časová osa fází

Čas opět budeme měřit od betonování prvního úseku. Předpínání každé fáze bude provedeno 7 dní po jejím vybetonování a odbednění následuje ihned po předepnutí. Vybudování ostatních konstrukčních prvků mostu – římsy, vozovka..-budou zajištěny 30 dní od poslední betonáže.

Fáze výstavby	Čas [den]
Bednění I. Fáze	0
Předeprnutí I. Fáze	7
Bednění II. Fáze	28
Předeprnutí II. Fáze	35
Bednění III. Fáze	56
Předeprnutí III. Fáze	62
Bednění IV. Fáze	84
Předeprnutí IV. Fáze	91
Bednění V. Fáze	112
Předeprnutí V. Fáze	119
Ostatní prvky (ost. st.)	142
Dokončená stavba DK	142,1
Uvedení do provozu UP	162
UP charakteristická k. UP častá k. UP kvazistálá k.	cca 200
KZ charakteristická k. KZ častá k. KZ kvazistálá k.	cca 36 500

Tabulka 28 V II: Harmonogram výstavby

10.2 Sledování konstrukce

Mezní hodnoty napětí jsou stejné jako v předchozí variantě, protože vycházíme z normy. Podmínkou navíc je omezení tahového napětí ve spáře. Ač jsem se snažila najít v normě přímo definovanou mezní hodnotu, nepodařilo se mi. S vedoucím této bakalářské práce, panem Doc., Ing. Markem Foglarem, Ph.D., jsme se proto domluvili na následujících podmínkách: během výstavby nesmíme ve spáře překročit tah o velikosti 1 MPa. V provozním stavu vyžadujeme nulové tahové napětí, v případě velké obtížnosti smíme drobné tahy zajistit dostatečným množstvím předpínací výztuže.

P o d m í n k y						
			konstrukce		spára	
S t a v b a			T a h	T l a k	T a h	T l a k
			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Fáze I	Předpětí I,	pole 1	2,37	13,27	1	13,27
Fáze II	Předpětí II	pole 2	2,37	13,27	1	13,27
Fáze III	Předpětí III	pole 1	2,9	18	1	18
		pole 3	2,37	13,27	1	13,27
Fáze IV	Předpětí IV	pole 1+2	2,9	18	1	18
		pole 4	2,37	13,27	1	13,27
Fáze V	Předpětí V	pole 1+2+3+4	2,9	18	1	18
		pole 5	2,37	13,27	1	13,27
Vnesení ost. st.		celá kce	2,9	18	0	18
P r o v o z						
Kvazistálá kombinace	UP	celá kce	0	13,5	0	13,5
	KZ	celá kce	0	13,5	0	13,5
Častá kombinace	UP	celá kce	0	-	0	-
	KZ	celá kce	0	-	0	-
Charakter. kombinace	UP	celá kce	2,9	18	0	18
	KZ	celá kce	2,9	18	0	18

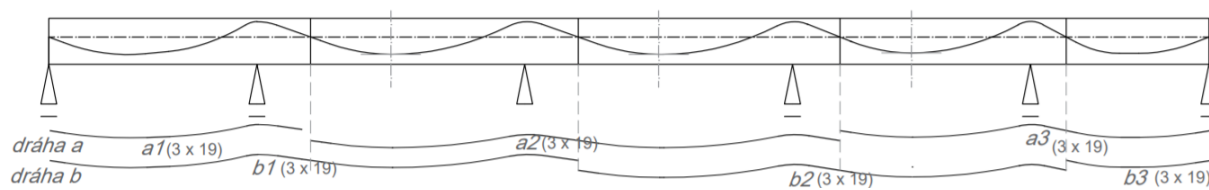
Tabulka 29 V II: Podmínky pro výstavbu a provoz pro MSP

10.3 Chování konstrukce s navrhovaným předpětím

10.3.1 Návrh 1

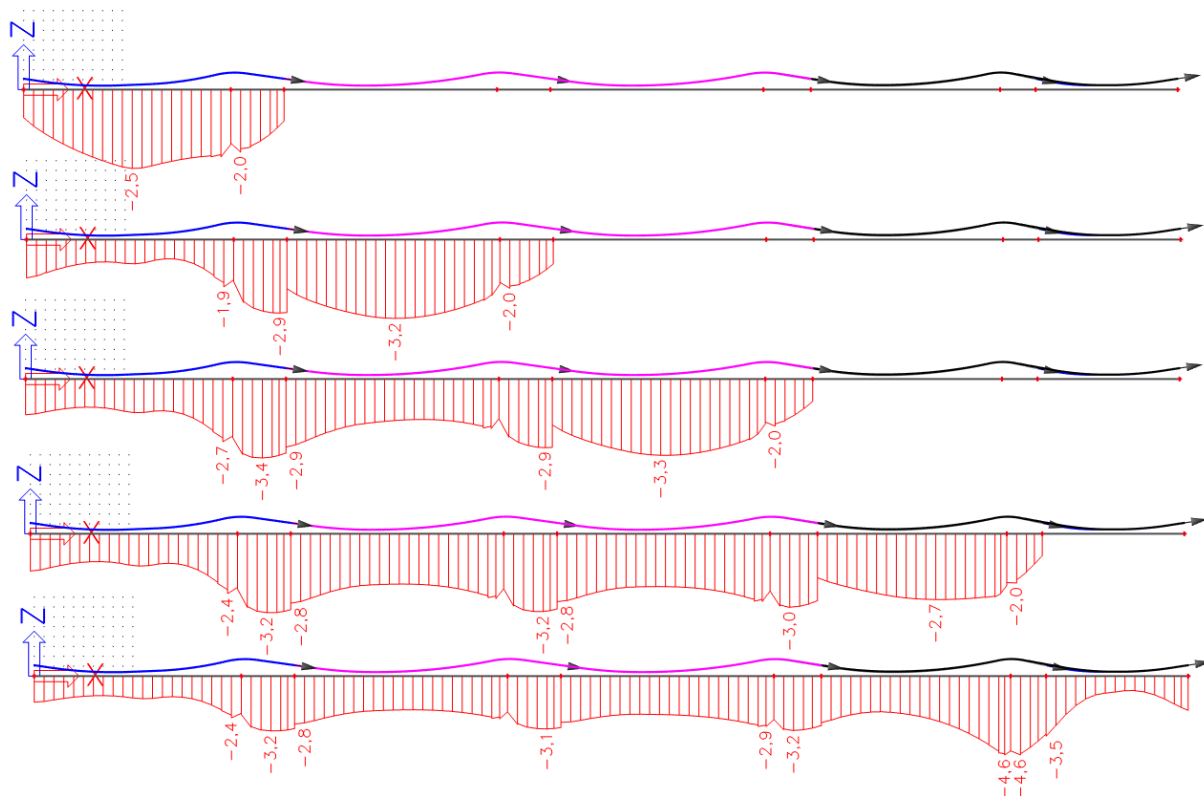
V prvním návrhu, stejně jako u varianty s celou skruží (VI), vycházíme z předběžného výpočtu pro návrh předpětí v kapitole 7. *Předpětí*. Použijeme tedy opět 6 kabelů po 19 lanech, které rozmístíme do dvou drah po třech. Tak dodržíme podmínku spojování maximálně poloviny kabelů ve spárách. Polygon kabelu však musíme poupravit, abychom splňovali konstrukční zásady. Všechny kabely by spárou měli procházet bez zakřivení, spojované ideálně s přímými úseky před i za spojkou alespoň 1 m. Dále musíme myslet na minimální osové vzdálenosti kabelů ve spáře. Dodržíme i doporučení, které říká, že výsledná poloha kabelů by ve spáře měla procházet těžištěm. V důsledku tohoto doporučení je nutné snížit excentricity v polích, aby tvar kabelů byl co nejvíce v zakřivení.

Poznámka: Tento první návrh byl však několikrát upravován, jelikož obsahoval zásadní chyby v geometrii, proto konstrukční zásady splňoval až po několika konzultacích s vedoucím práce.

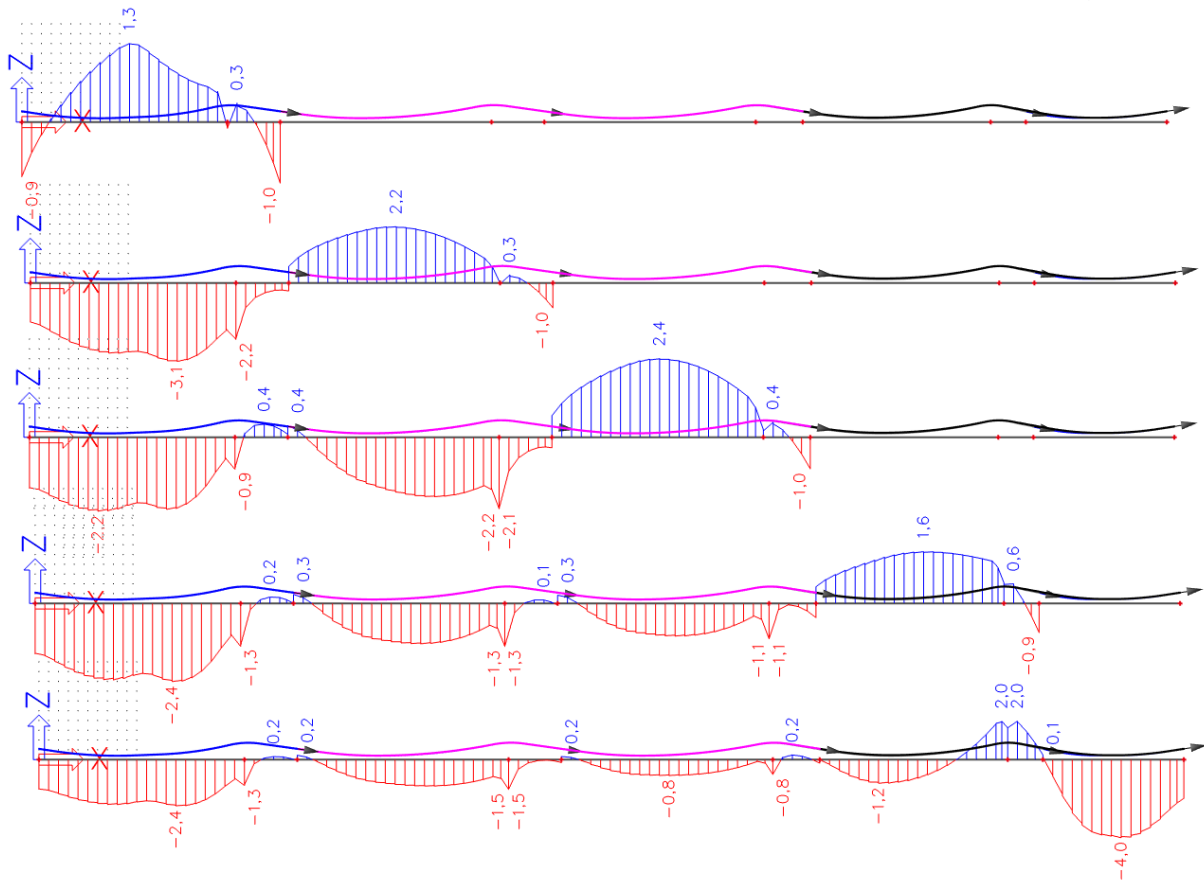


Obrázek 100 VII N1: Schéma kabelů

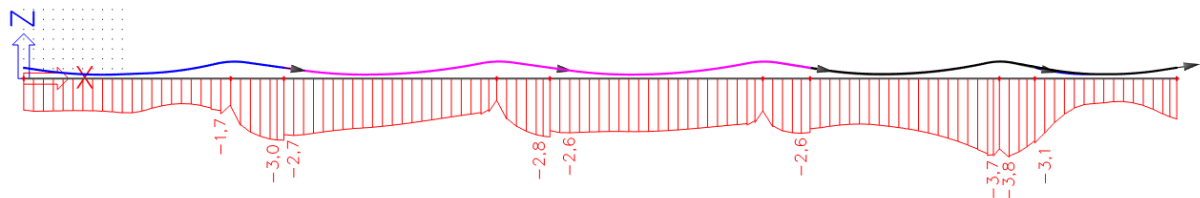
Sledování konstrukce - stavba



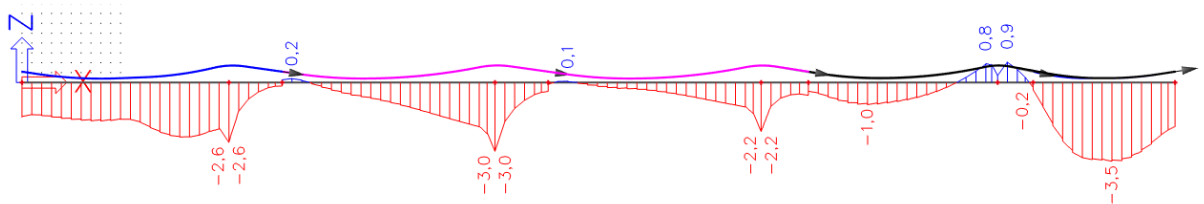
Obrázek 101 VII N1: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)



Obrázek 102 V II N1: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)



Obrázek 103 V II N1: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



Obrázek 104 V II N1: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

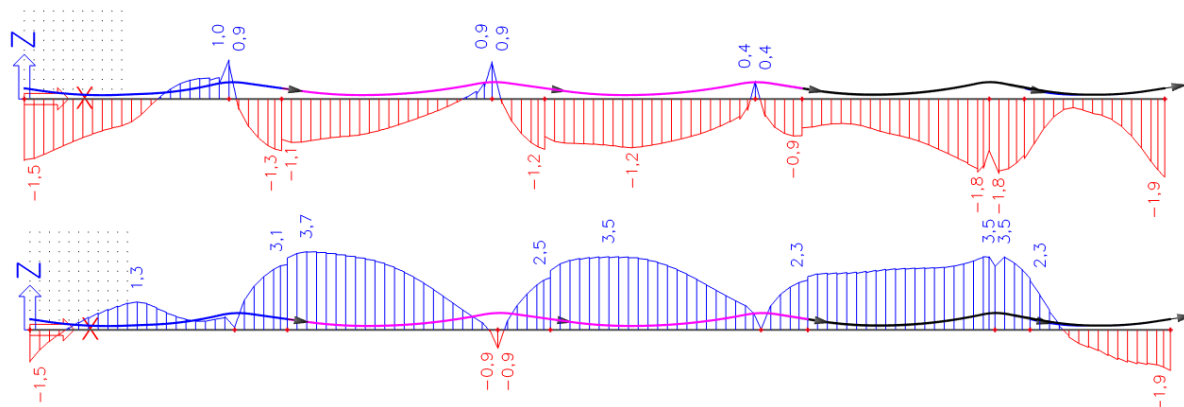
Konstrukce při výstavbě ve spárách vyhoví. Podmínkou v nich je možná přípustnost dočasného tahu maximálně 1 MPa. Tu jsme skutečně nikde nepřekročili. V ostatních částech konstrukce může po jejich předepnutí vznikat tahové napětí maximálně 2,3 MPa. To jsme přesáhli po odbednění třetího pole. Předpětí je v této fázi výstavby nedostatečné.

V dokončené konstrukci potřebujeme, aby celá konstrukce byla dostatečně tlačaná, což jsme nesplnili. (Chceme opět splnit nulové tahy pro častou kombinaci zatížení.) Nad pátou podporou vidíme, že budeme muset snížit excentricitu, ostatní tahy jsou způsobeny nedostatkem předpětí. Každopádně, vedení kabelů budeme muset zcela zásadně upravit. Předpětí je malé, při pouhém navýšení počtu lan bychom získali tahy ve spodních vláknech nad podporami, v polovinách vnitřních polí bychom však stále nedosáhli potřebných hodnot. Současné kabely jsou totiž v těchto místech prakticky neúčinné.

Sledování konstrukce – uvedení do provozu

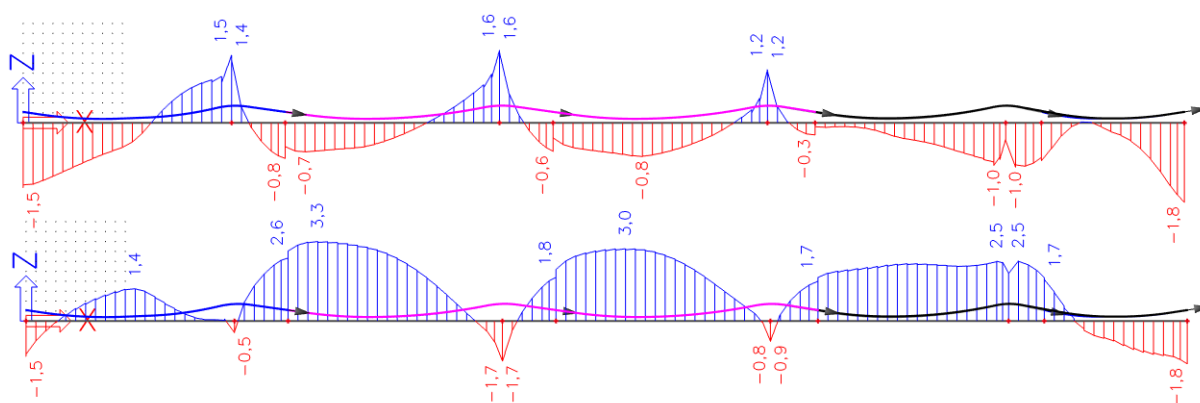
Pouze pro představu si vykreslíme maximální tahy od časté kombinace zatížení.

(Poznámka k obrázkům: UP – konstrukce při uvedení do provozu, KŽ -konstrukce na konci životnosti)



Obrázek 105 V II NI: UP ČAST – Max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Sledování konstrukce – konec životnosti konstrukce

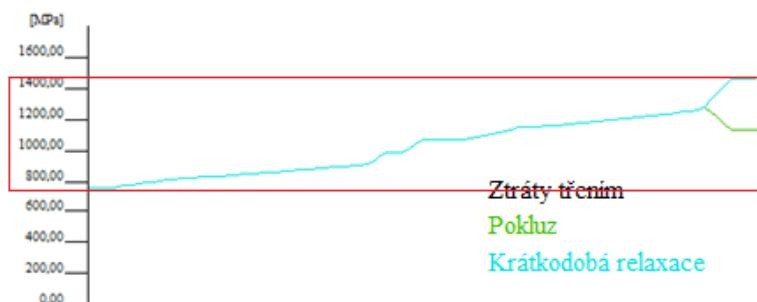


Obrázek 106 V II NI: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech (MPa)

Jak jsme popsali výše, budeme muset zvětšit množství výztuže, snížit excentricity nad podporami (to nám napovídá poměr tahových napětí v polích ku tlakovým rezervám nad

podporami v dolních vláknech při časté kombinaci), dále významně změnit tvar kabelů v oblastech spár a polích.

Podíváme se jen pro představu na průběh ztrát předpětí v kabelu, který je veden přes čtvrté a třetí pole.



Obrázek 107 V II N1: Ztráty předpětí kabelu přes vnitřní pole

Vidíme, že jsou poměrně velké, je potřeba je vzít v úvahu, případně je v dalším návrhu alespoň trochu eliminovat.

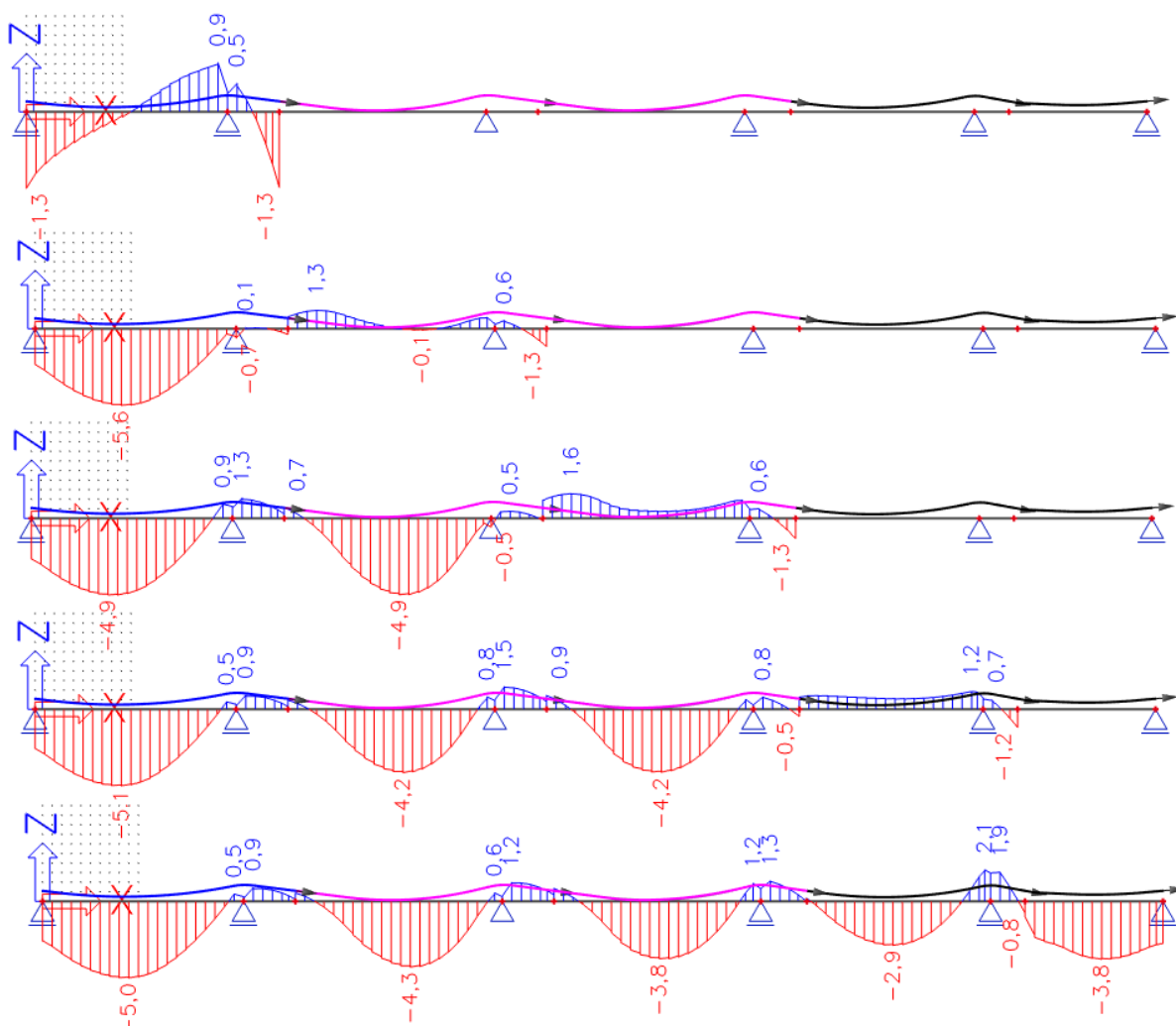
10.3.2 Návrh 2

Změna tvaru kabelů a navýšení množství výztuže je evidentně jasná. Přesto v tuto chvíli neumím odhadnout, jak přesně, v jakých „intenzitách“ změny provést. Kabely v polích potřebují více zakřivit, zároveň je nutné snížit excentricity nad podporami, ohled musíme brát i na ztráty předpětí, které jsme měli v předchozím návrhu velké.

V tomto návrhu si proto nahodíme ty samé kabely, jako v prvním návrhu, akorát ve větším množství. Rozdíly ve výsledcích nás nasměrují ke správným úvahám pro další návrhy ve změnách předpětí. Ukážou nám, jak citlivá „takto po taktech“ předpínaná konstrukce je. V žádném případě tedy neočekáváme, že by tento návrh vyhověl. Z šesti kabelů po devatenácti lan navýšíme počet na osm dvaadvacetilanových.

Poznámka: Sledovat konstrukci budeme nyní pouze ve spodních vláknech, neboť to beru v tuto chvíli za dostačující.

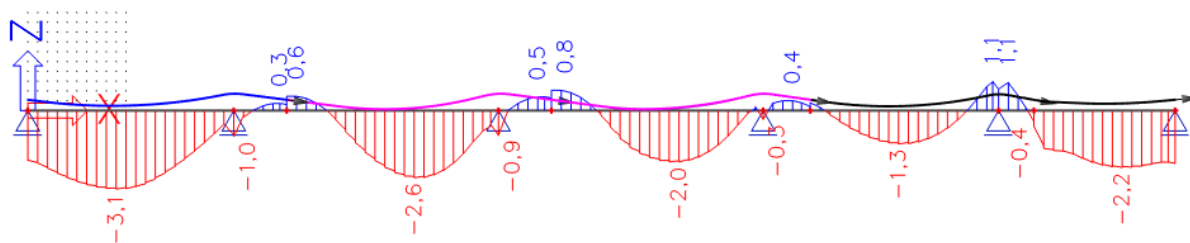
Sledování konstrukce- stavba



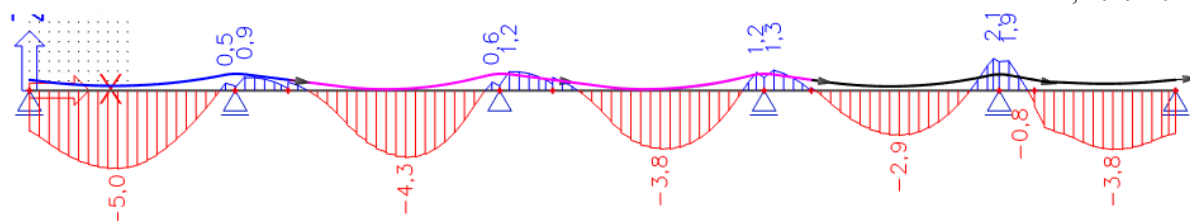
Obrázek 108 Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)

Porovnání návrhu 1 X návrhu 2

Konstrukci porovnáme po odbednění poslední části konstrukce.



Obrázek 109 V II N1: Porovnání N1 s N2 po posledním odbednění ke, napětí v dolních vláknech (MPa)



Obrázek 110 V II N2: Porovnání N1 s N2 po posledním odbednění ke, napětí v dolních vláknech (MPa)

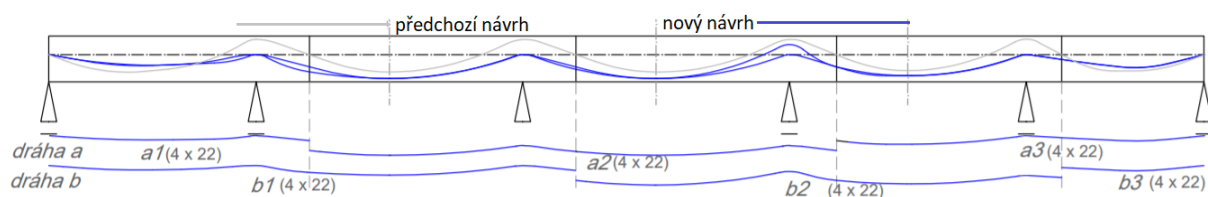
V dalších návrzích budou polohy kabelů nad podporami výrazně nižší, nejspíš začneme od poloh v těžišti a případně budeme excentricity postupně navyšovat. Rozhodně tedy opustíme doporučení pro spáry - mít výslednou polohu předpínací výztuže v těžišti průřezu.

10.3.3 Návrh 3

Musíme zcela změnit geometrii kabelu. Jelikož předepínáme polovinu kabelů za každou podporou, za každou podporou vnášíme obrovskou sílu, musíme být opatrnější právě v těchto místech při zakřívování výztuže a její polohy. Potřebné a výrazné snížení excentricit nad podporami nás však nutí ve spáře posunout výslednou polohu výztuže pod těžiště průřezu. Protože potřebujeme především co nejúčinnější kabely v polích, využijeme staticky určitých účinků od předpětí a celkově kabely posuneme k dolním vláknům průřezu.

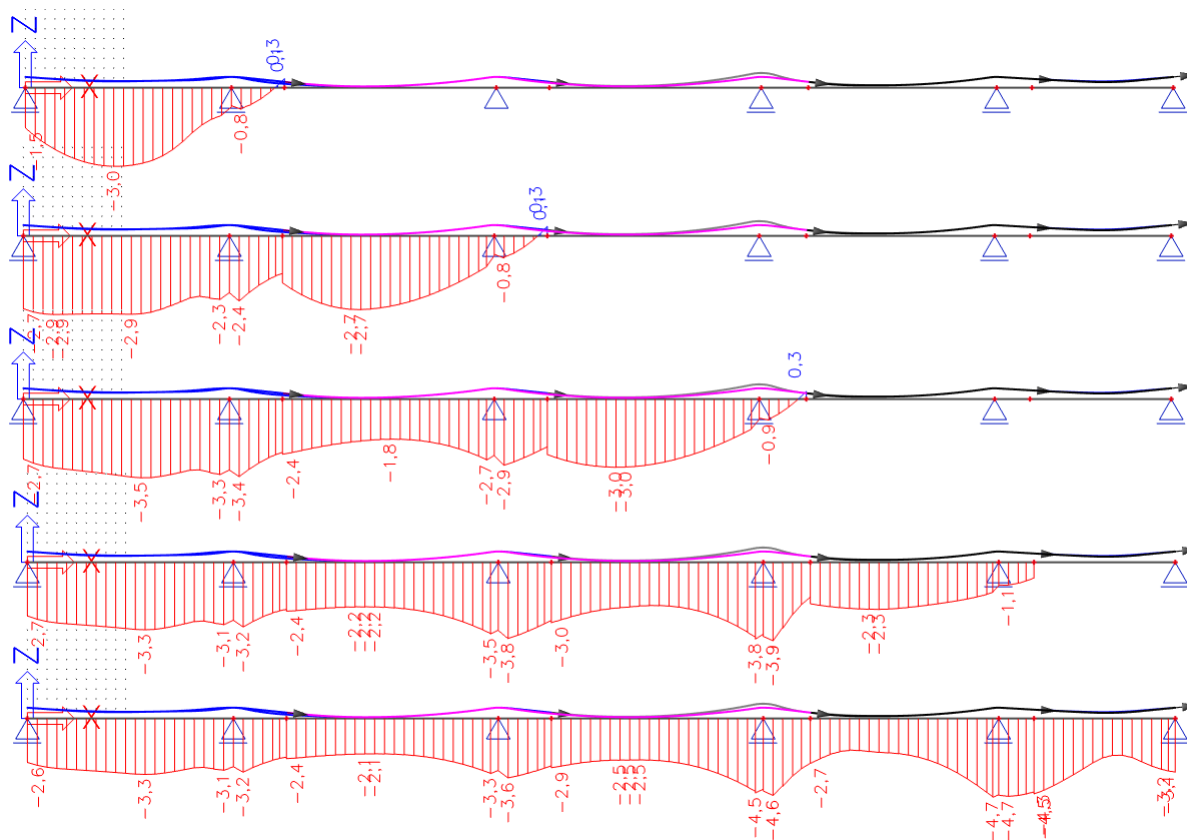
V tomto návrhu schválně volím nadpodporové polohy kabelů do těžiště průřezu, pouze u 4. podpory je výška poloviny kabelů 110 mm nad těžištěm.

Počet: Rovnoměrně rozděleno 8 kabelů po 22 lanech. (Celkem 176 lan, oproti *návrhu 1* jsme navýšili o 62 lan.)

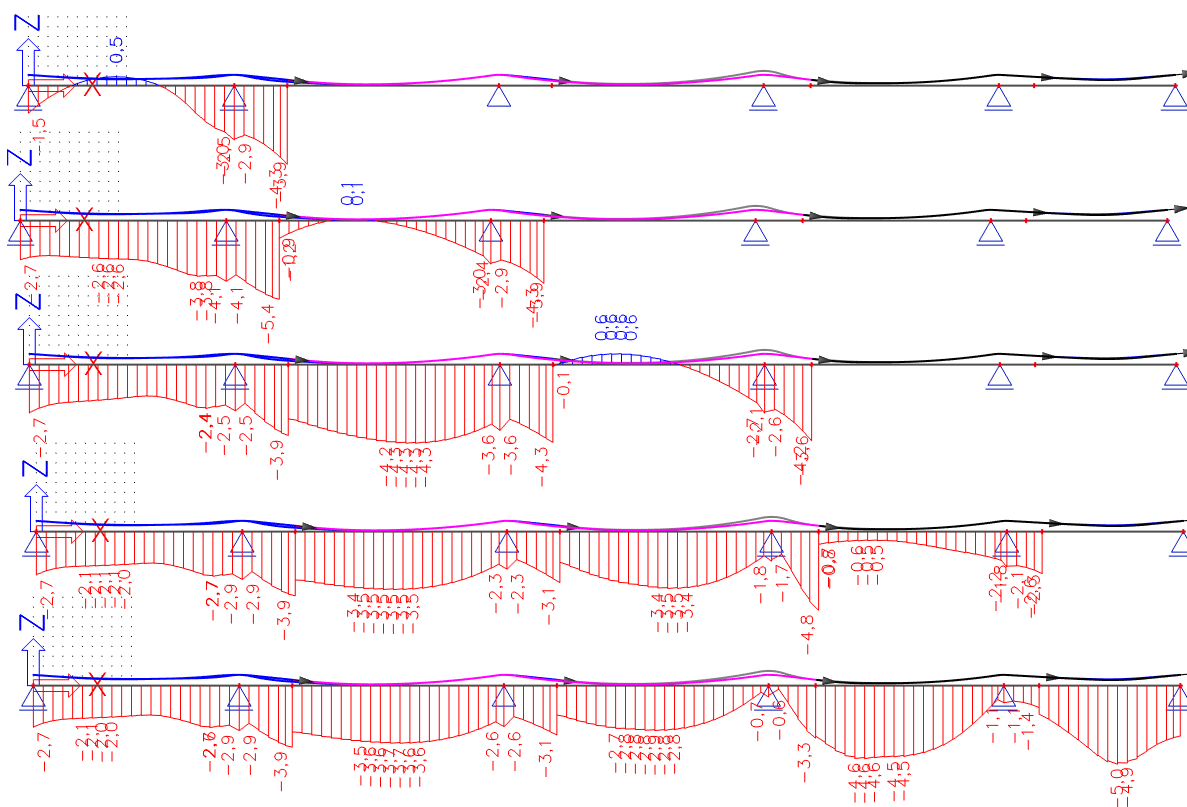


Obrázek 111 V II N3: Schéma kabelů

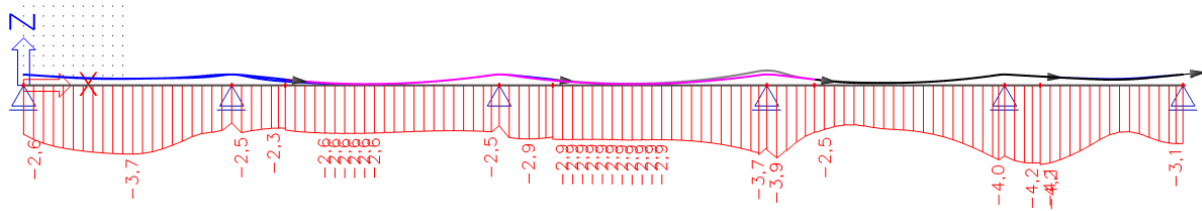
Sledování konstrukce-stavba



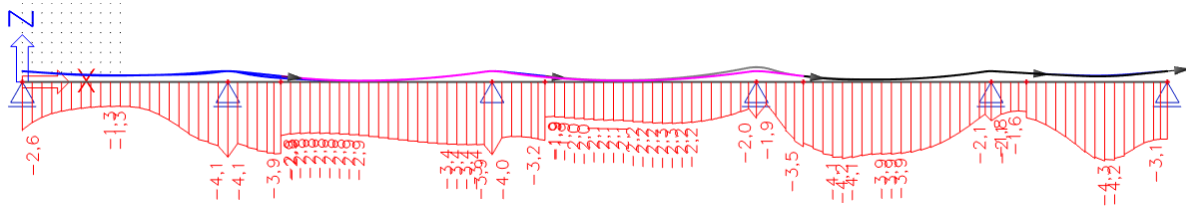
Obrázek 112 V II N3: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)



Obrázek 113 V II N3: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)



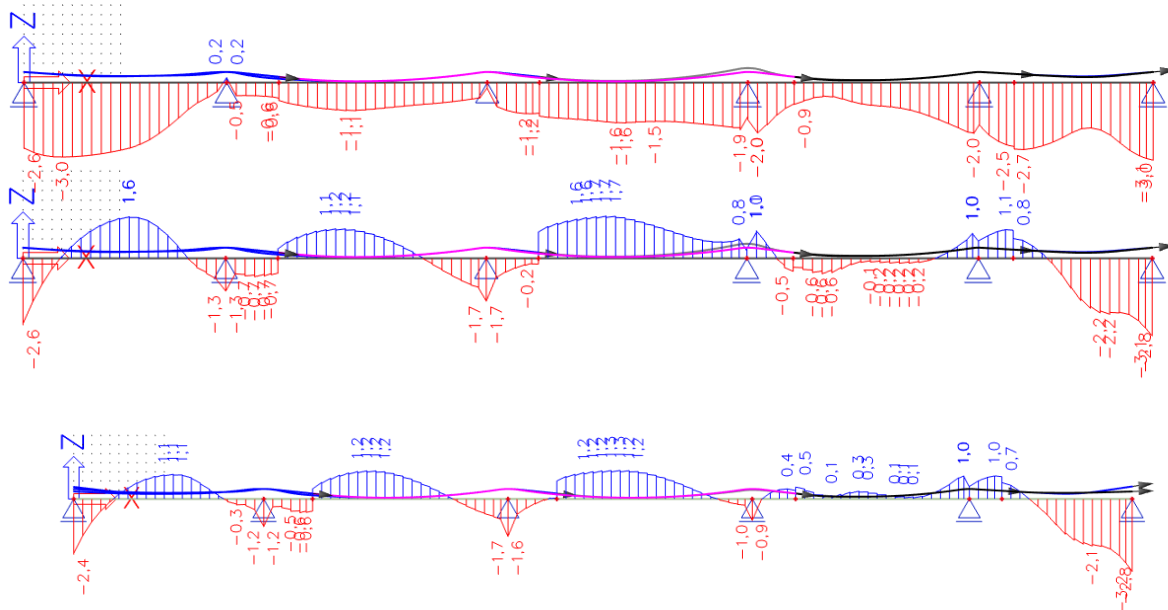
Obrázek 114 V II N3: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



Obrázek 115 V II N3: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

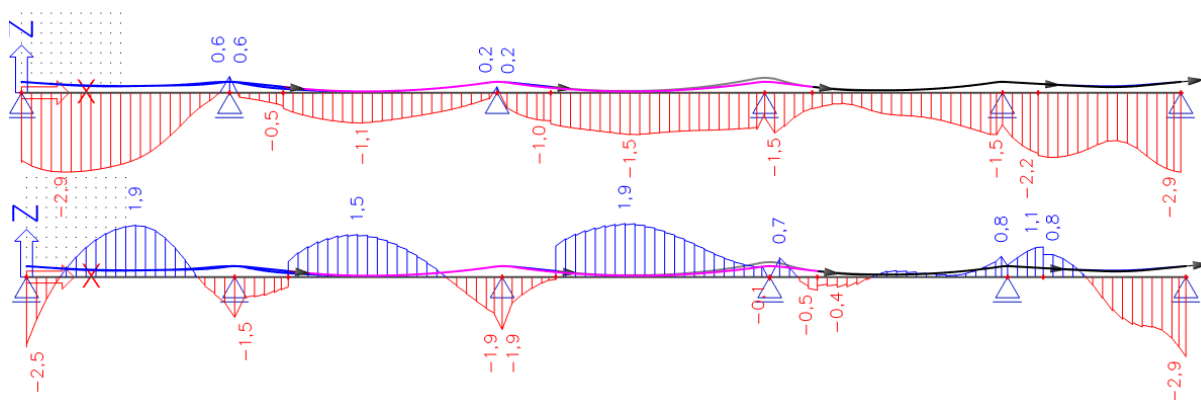
Konstrukce při výstavbě vyhoví, během ní jsme se dostali k maximálnímu tahu 0,6 MPa, kterým byla konstrukce chvíli namáhána po odbědnění prostředního pole. Ve spárách jsme dokonce tah nevyvolali po celou dobu výstavby. Konstrukce při výstavbě vyhoví.

Sledování konstrukce -uvedení do provozu



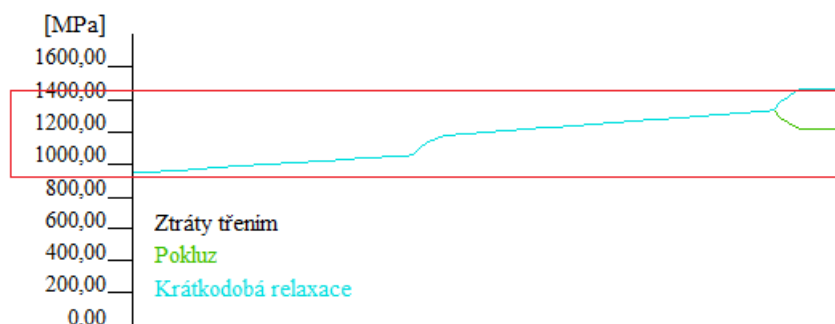
Obrázek 116 V II N3: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Sledování konstrukce- konec životnosti



Obrázek 117 V II N3: KŽ ČÁST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

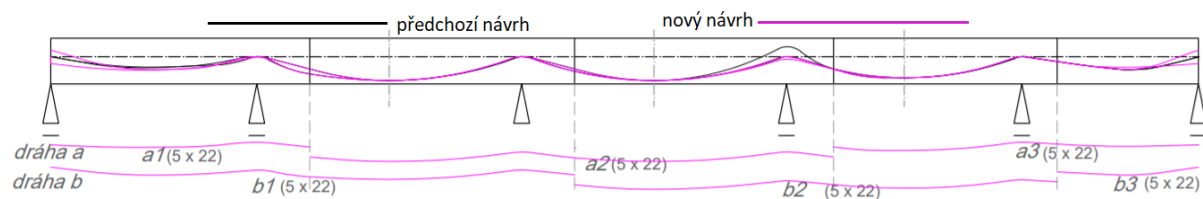
Ač návrh nesplňuje podmínky, s výsledky jsem překvapivě spokojená. Tlakové rezervy se na dokončené konstrukci (po vnesení ostatního stálého zatížení) o dost zvětšily. Konstrukce při časté kombinaci sice nevyhoví, ale aktuální schéma napětí při jejím působení napovídá, že až na drobné snížení excentricity nad čtvrtou a pátou podporou, zvětšení excentricit v prvním poli, bude stačit celkové navýšení počtu lan. Příznivější jsou i průběhy ztrát, což nám také způsobilo větší účinky.



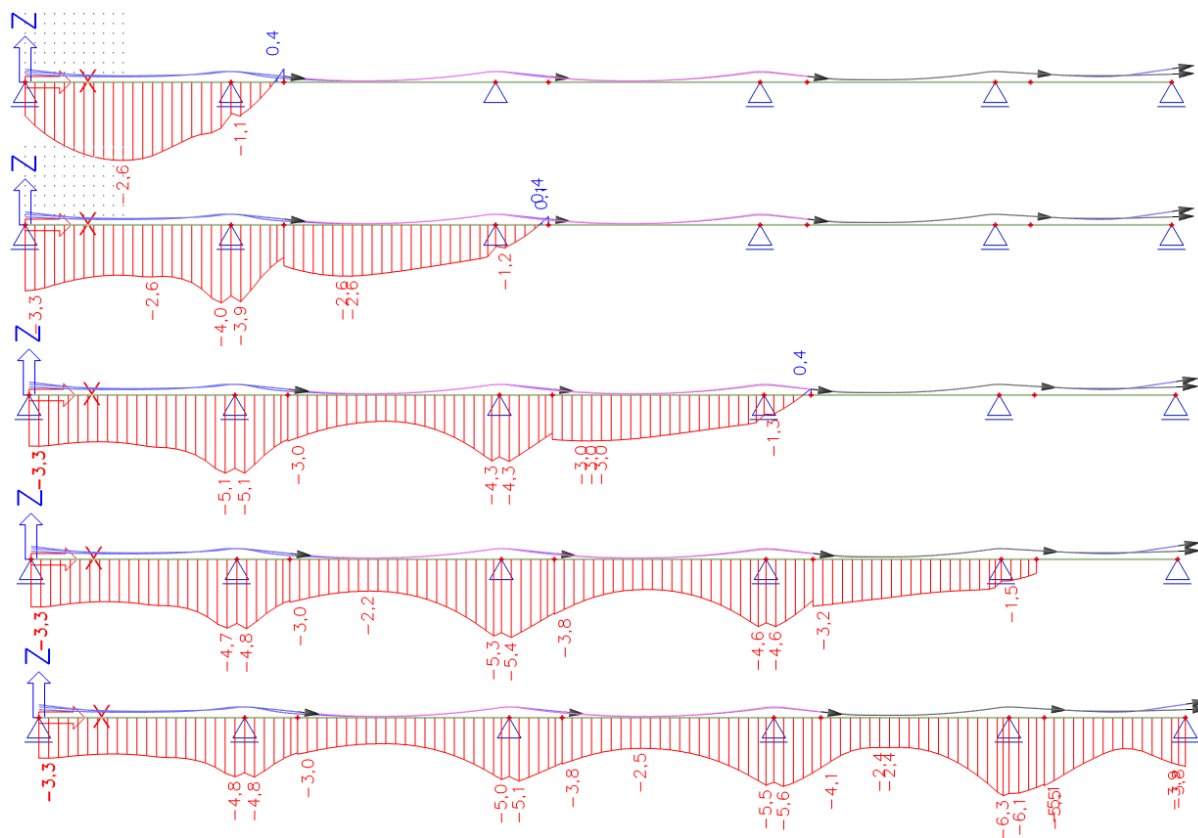
Obrázek 118 V II N3: Ztráty předpětí v kabelu před vnitřní pole

10.3.4 Návrh 4

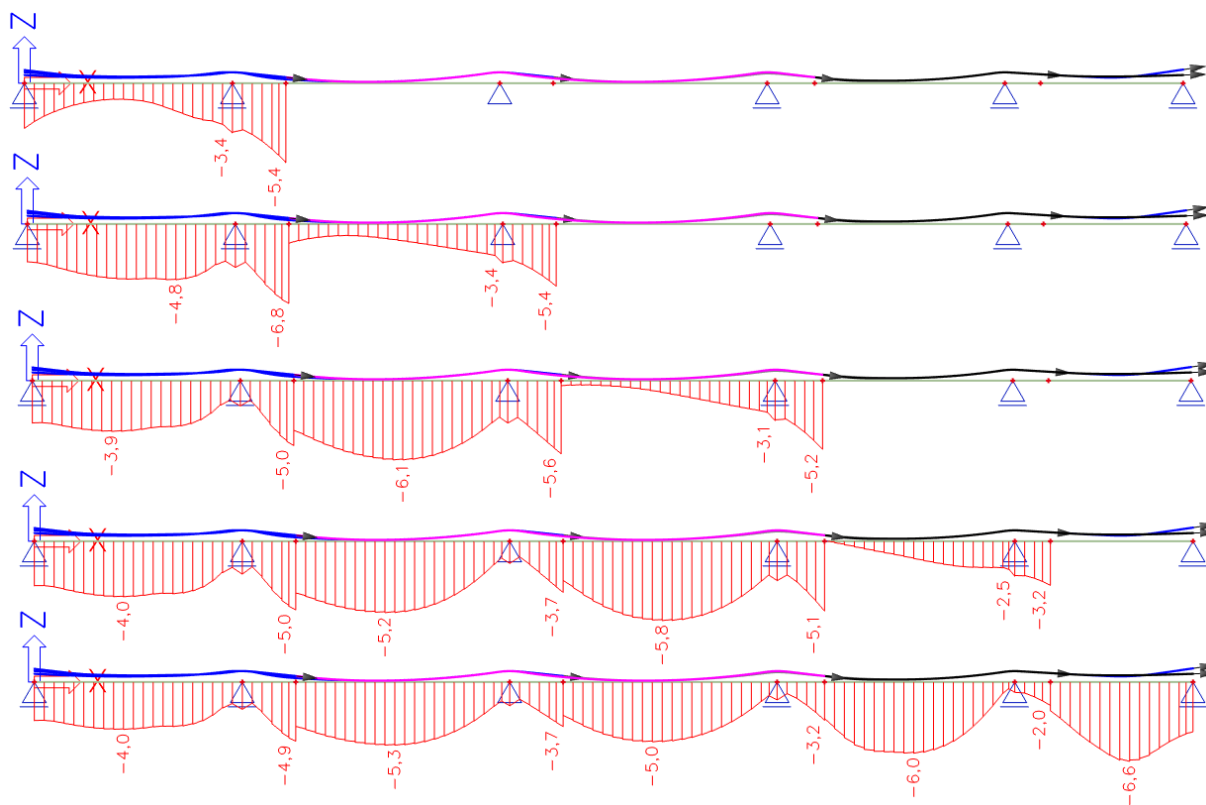
V tomto návrhu jsme provedli úpravy již zmiňované v návrhu 3. Počet jsme skutečně zvýšili, a to na 10 x 22 lan. Dohromady tedy 220 lan, což je o 44 lan více, než v předchozím návrhu.



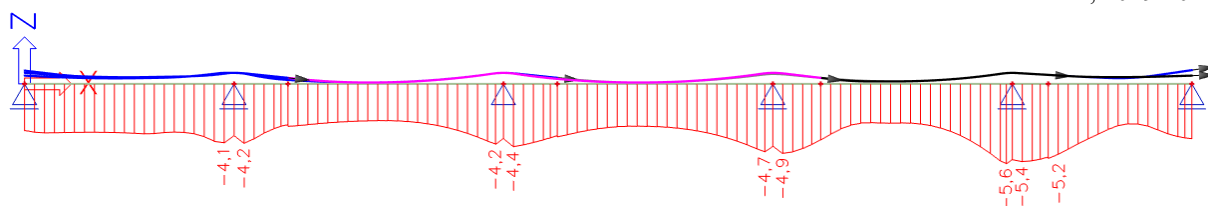
Sledování konstrukce- stavba



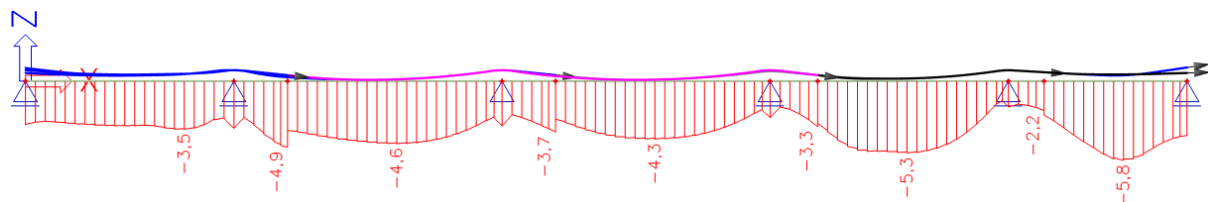
Obrázek 119 V II N4: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)



Obrázek 120 V II N4: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)

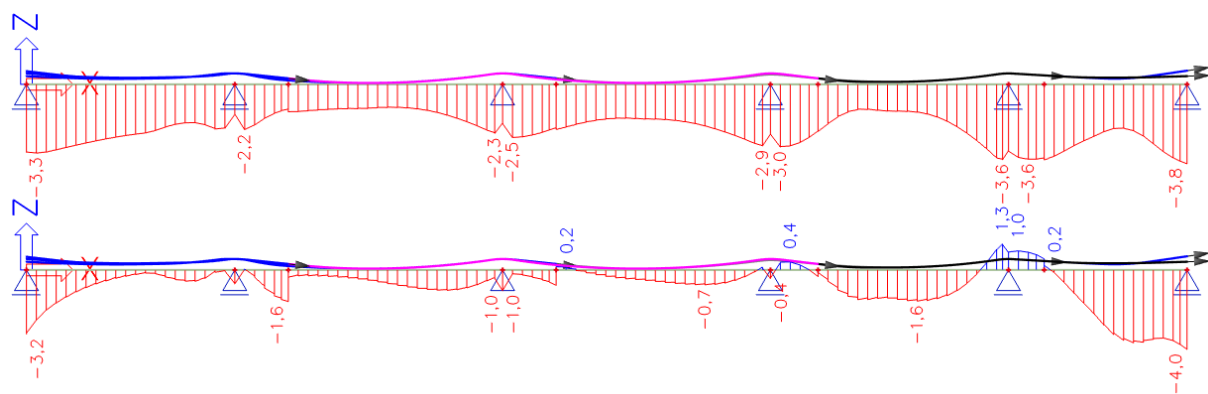


Obrázek 121 V II N4: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



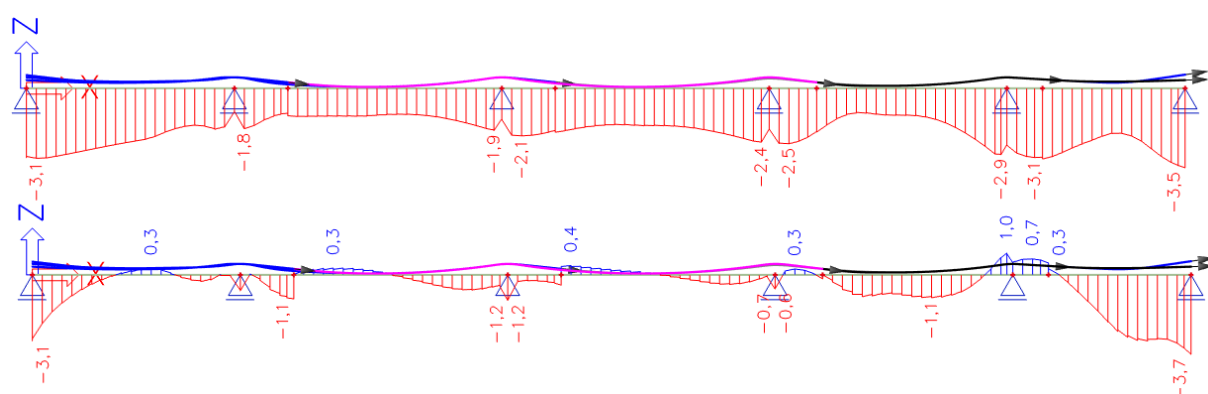
Obrázek 122 V II N4: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

Sledování konstrukce- uvedení do provozu



Obrázek 123 V II N4: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Sledování konstrukce- konec životnosti



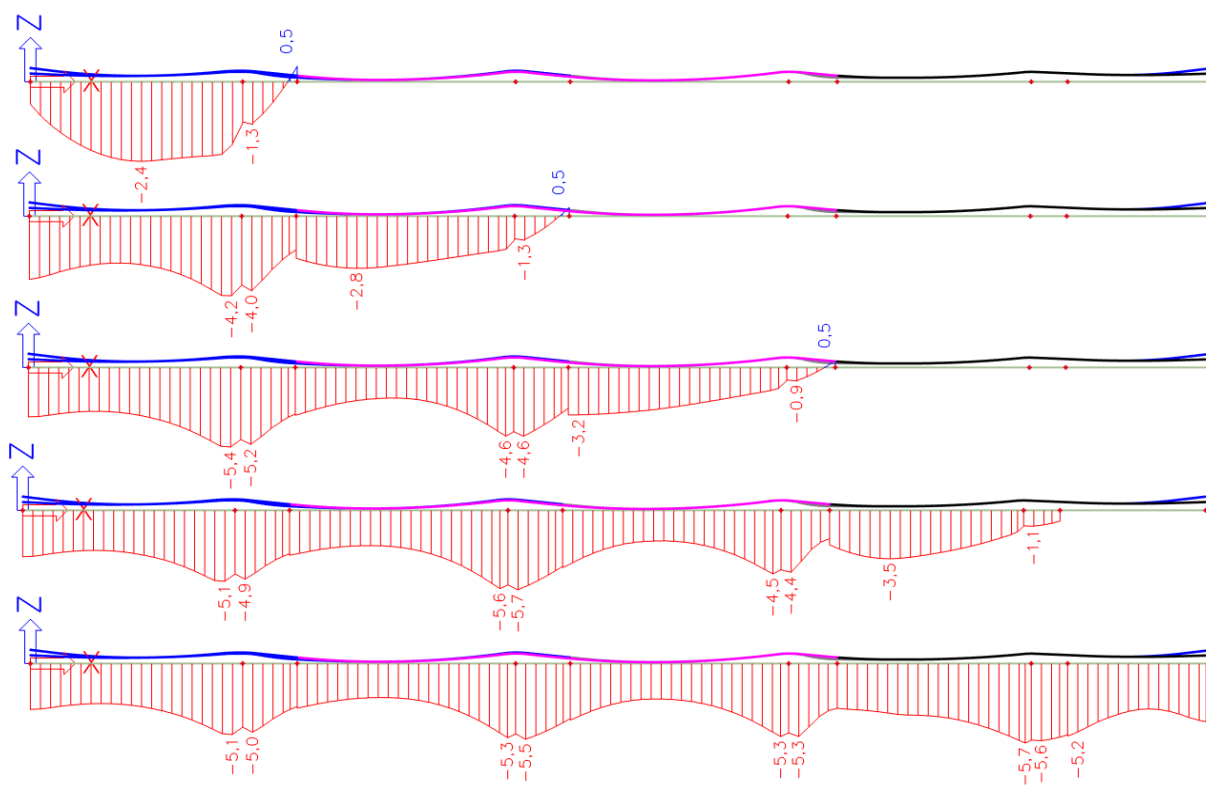
Obrázek 124 V II N4: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Návrh nám sice nevychází, problém je klasicky při maximálním tahovém namáhání od časté kombinace, nicméně úpravy v dalším návrhu nebudou rozsáhlé.

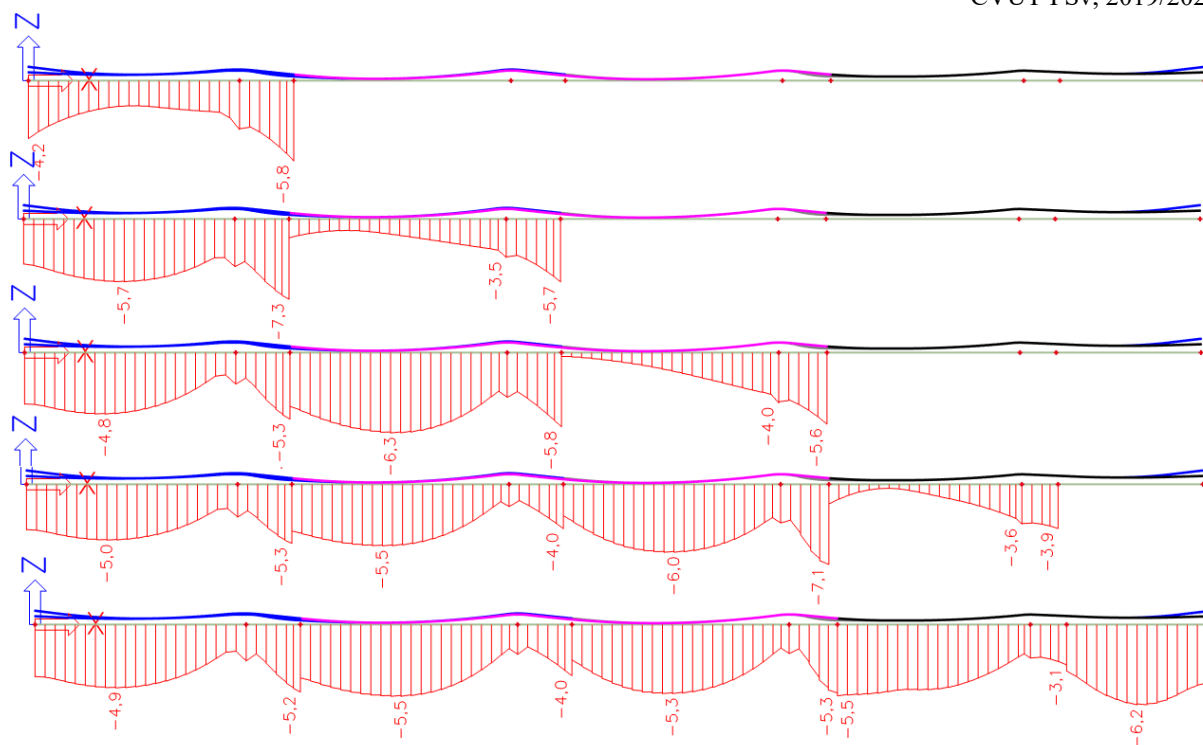
10.3.5 Návrh 5

S ohledem na výsledky napětí v časté kombinaci snížíme excentricity v krajním pátém poli, ve vnitřním čtvrtém poli, současně nad čtvrtou a pátou podporou. Tím dovedeme více předpětí do prostředního pole. (Snad to bude dostatečné.) Podobně vyřešíme problém i ve druhém poli. V prvním poli jednoduše zvýšíme účinky mírným zvětšením excentricit. Mírné tahy ve spárách zkusíme vyřešit malým posunutím vždy průběžných kabelů v dané spáře ke spodním vláknům průřezu. U spojovaných by se nám to mohlo již vymstít, neboť bychom mohli překročit maximální přípustný tah v horních vláknech ve spáře v době výstavby. Počet kabelů zvýšíme pouze decentně. Z 220 lan (110 v každé dráze po 5 kabelech- 5x22) povedeme 234 (117 v každé dráze po 6 kabelech- 5x19 + 1x22).

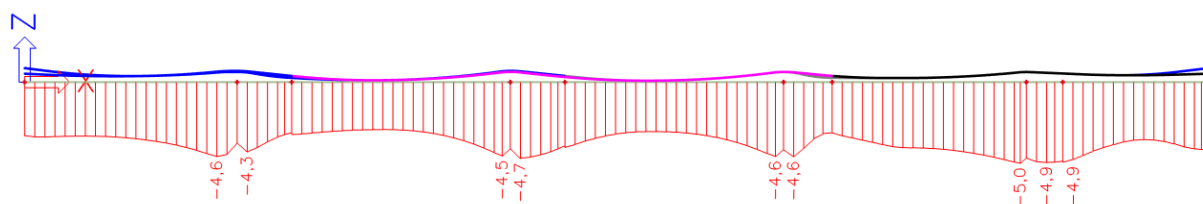
Sledování konstrukce- stavba



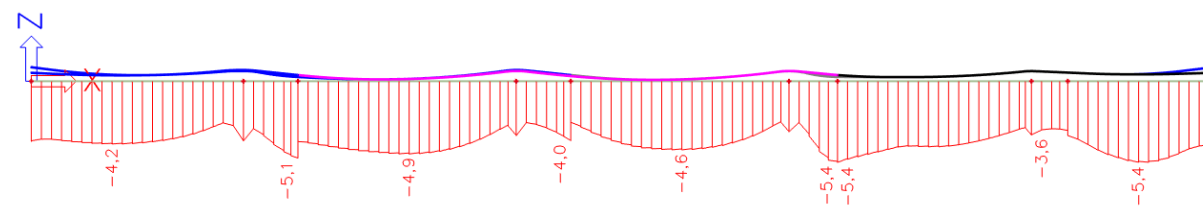
Obrázek 125 V II N5: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)



Obrázek 126 V II N4: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)

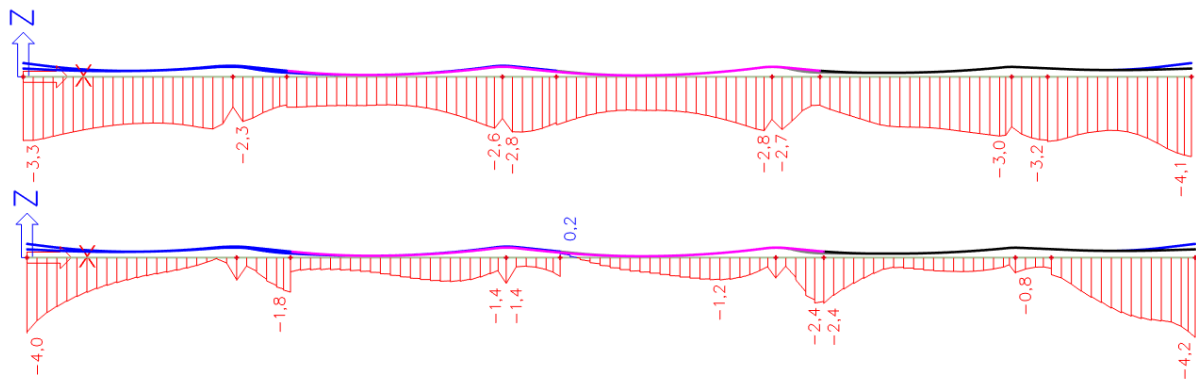


Obrázek 127 V II N4: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



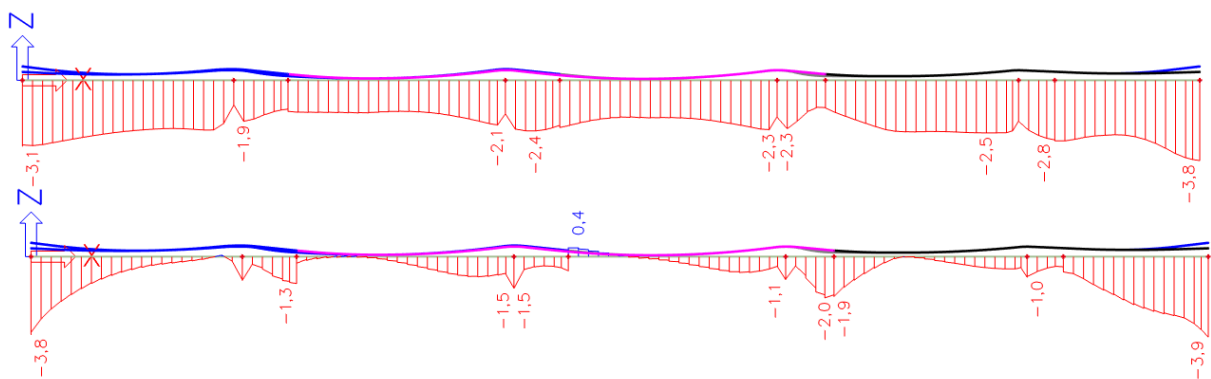
Obrázek 128 V II N5: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

Sledování konstrukce- uvedení do provozu



Obrázek 129 V II N5: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Sledování konstrukce- konec životnosti



Obrázek 130 V II N5: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Tento návrh s ohledem na variantu skruže považuji za vyhovující. Ačkoliv naší podmínkou jsou nulové tahy pro častou kombinaci v celé životnosti konstrukce, tahová napětí zde nezasahují do oblasti 100 mm od předpínací výztuže. Proto zde postačí návrh betonářské výztuže.

10.4 Posouzení MSP

10.4.1 Posouzení konstrukce MSP – výstavba

Předepnutí a odepnutí

Vykresleno na předchozích dvou stranách v podkapitole *Návrh 5 (V II)*.

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	2,37	0,5	horní	1,2,3 spára	vyhoví
σ_{lim}^-	-13,27	-7,3	dolní	2. pole	Vyhoví

Tabulka 30 V II: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby

Dokončení stavby po vnesení ostatního stálého zatížení

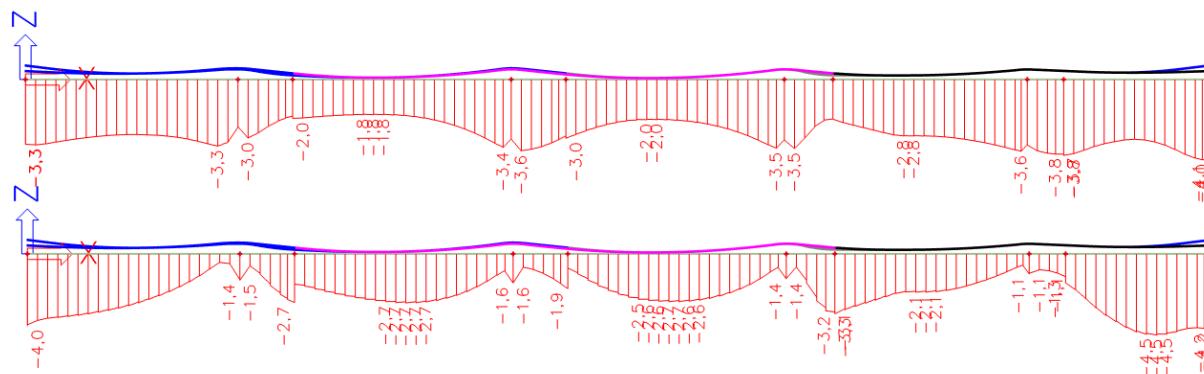
Vykresleno na předchozích dvou stranách v podkapitole *Návrh 5 (V II)*.

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	2,9	nevzniká	-	-	vyhoví
σ_{lim}^-	-18	-5,4	dolní	4.,5. pole	Vyhoví

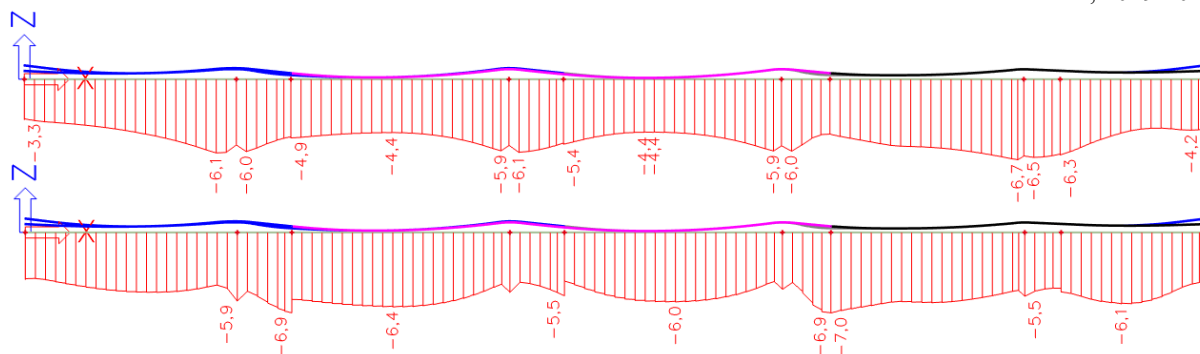
Tabulka 31 V II: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby

10.4.2 Posouzení konstrukce MSP – uvedení do provozu

Kvazistálá kombinace



Obrázek 131 V II: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

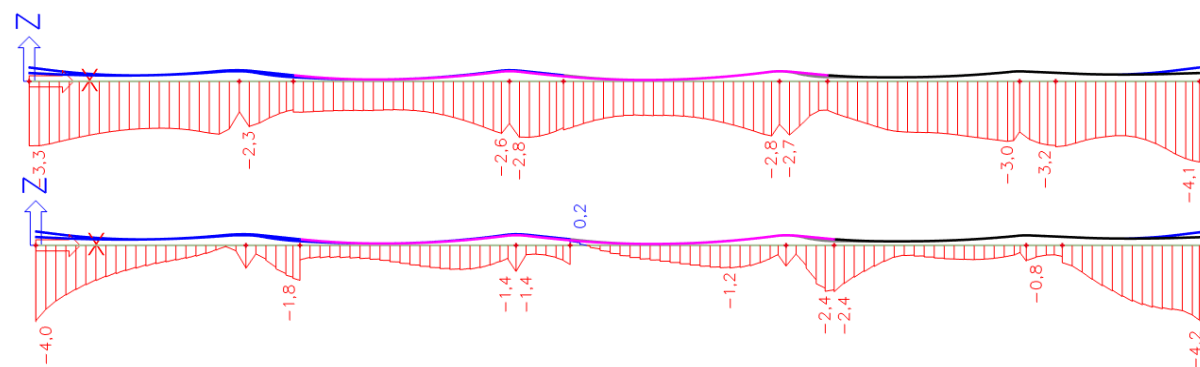


Obrázek 132 V II: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

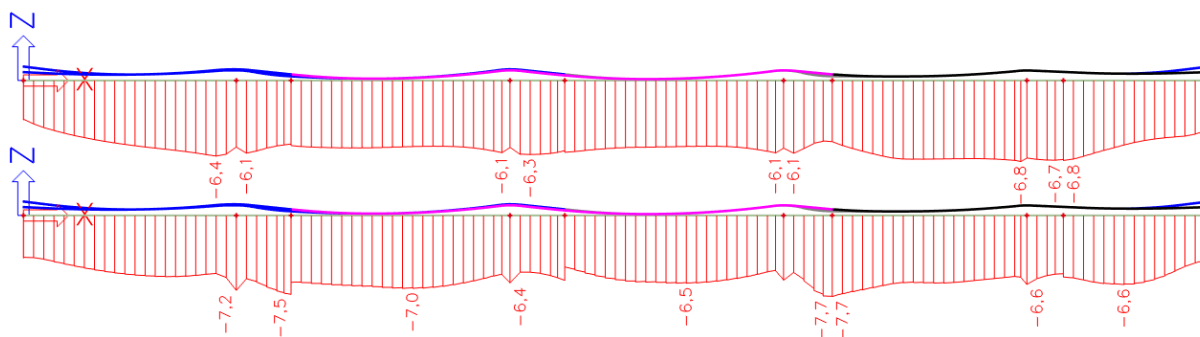
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	nevzniká	-	-	-
σ_{lim}^-	-13,5	-7,0	dolní	4. pole	Vyhoví

Tabulka 32 V II: POSOUZENÍ MSP – UP KVAZ

Častá kombinace



Obrázek 133 V II: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

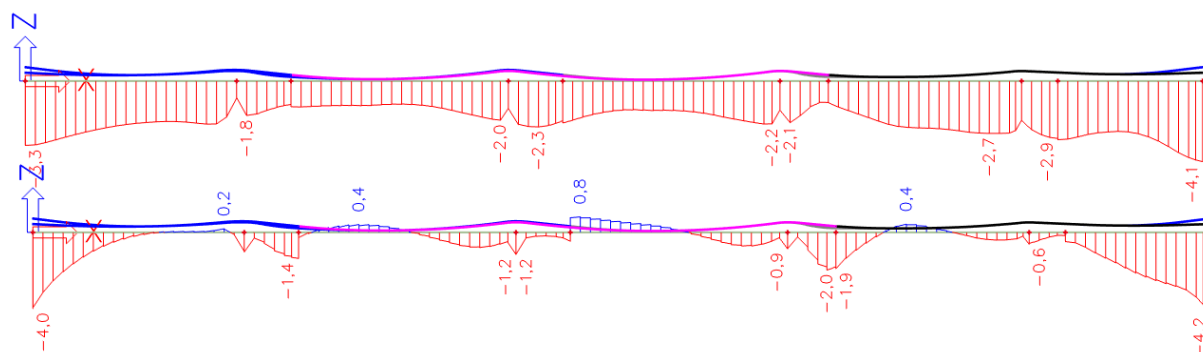


Obrázek 134 V II: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

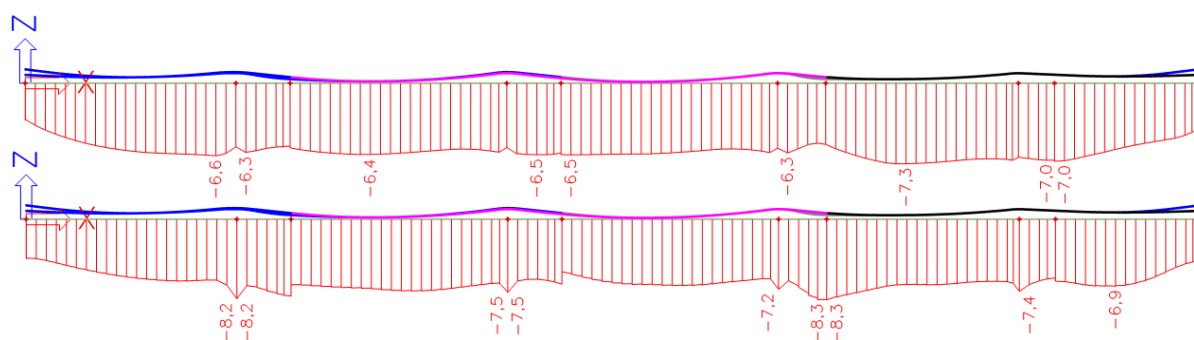
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0,0	0,2	dolní	3.pole (spára)	vyhoví
σ_{lim}^-	X (30)	-7,7	dolní	4.pole (spára)	Vyhoví

Tabulka 33 V II: POSOUZENÍ MSP – UP ČAST

Charakteristická kombinace



Obrázek 135 V II: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)



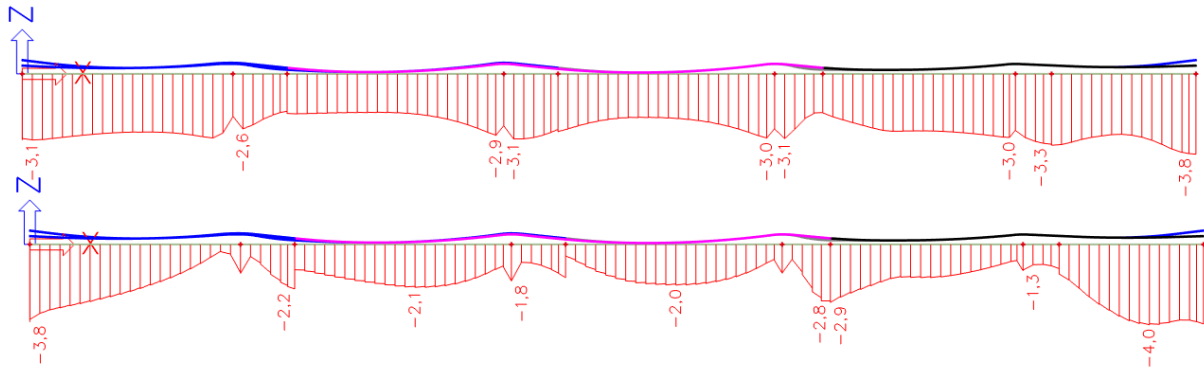
Obrázek 136 V II: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	X (2,9)	0,8	dolní	3.pole (spára)	vyhoví
σ_{lim}^-	-18	-8,3	dolní	4.pole (spára)	vyhoví

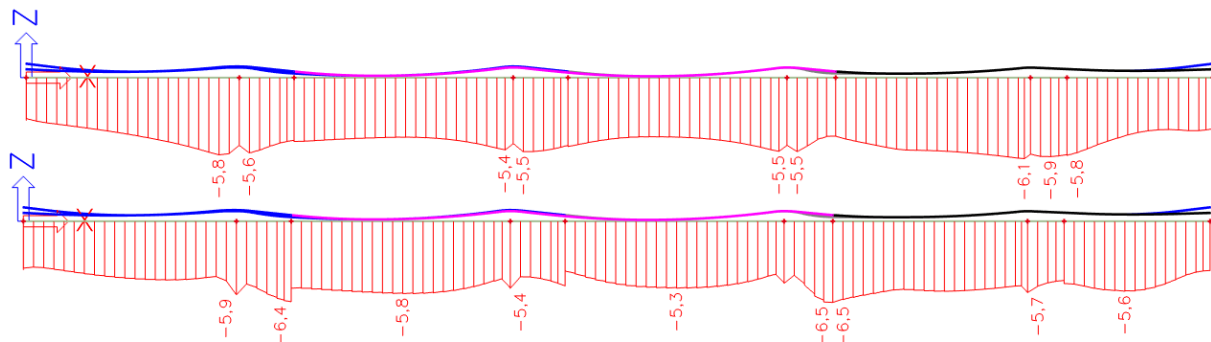
Tabulka 34 V II: POSOUZENÍ MSP – UP CHAR

10.4.3 Posouzení konstrukce MSP – konec životnosti

Kvazistálá kombinace



Obrázek 137 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

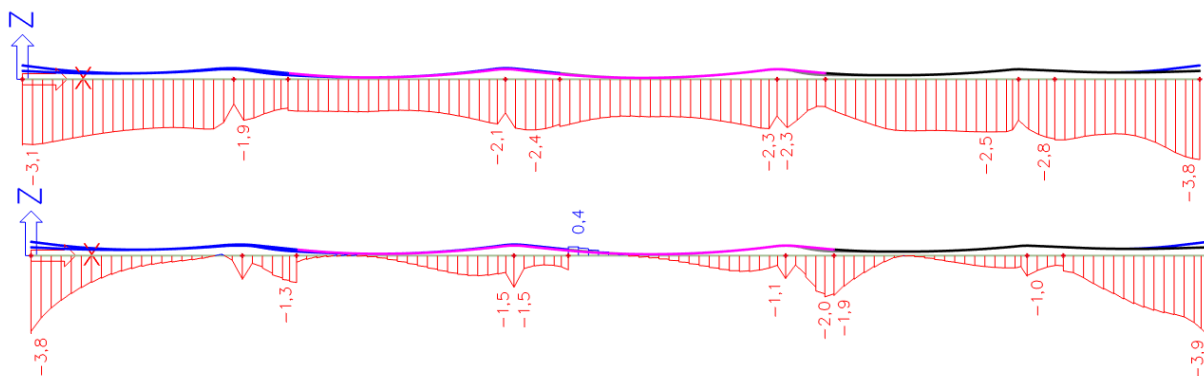


Obrázek 138 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

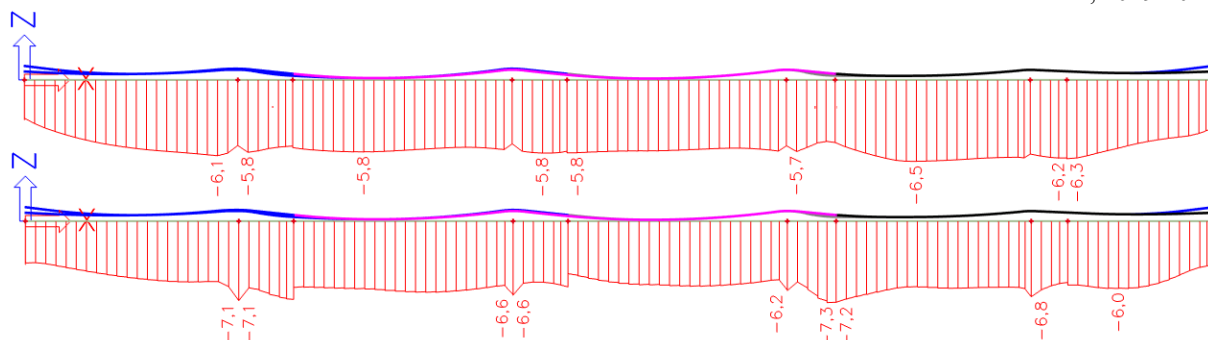
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	nevzniká	-	-	-
σ_{lim}^-	-13,5	-6,5	dolní	4. podpora	Vyhoví

Tabulka 35 V II: POSOUZENÍ MSP – KŽ KVAZ

Častá kombinace



Obrázek 139 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

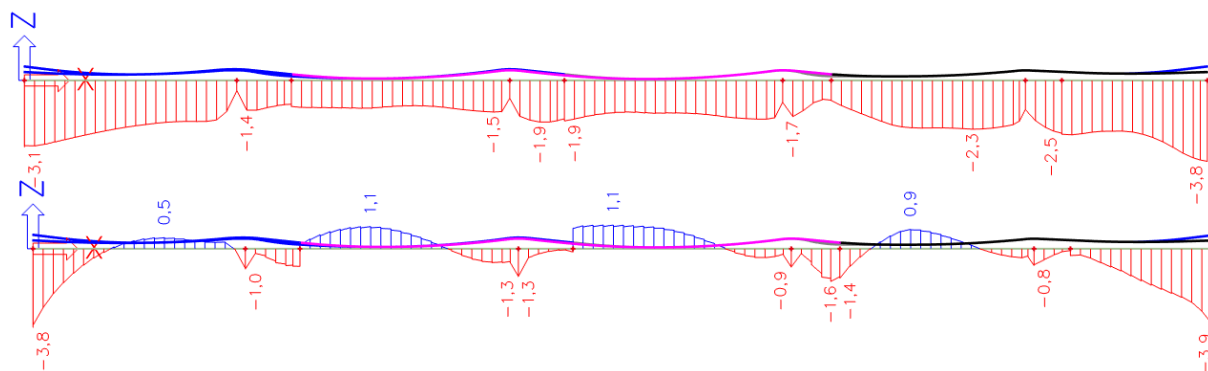


Obrázek 140 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

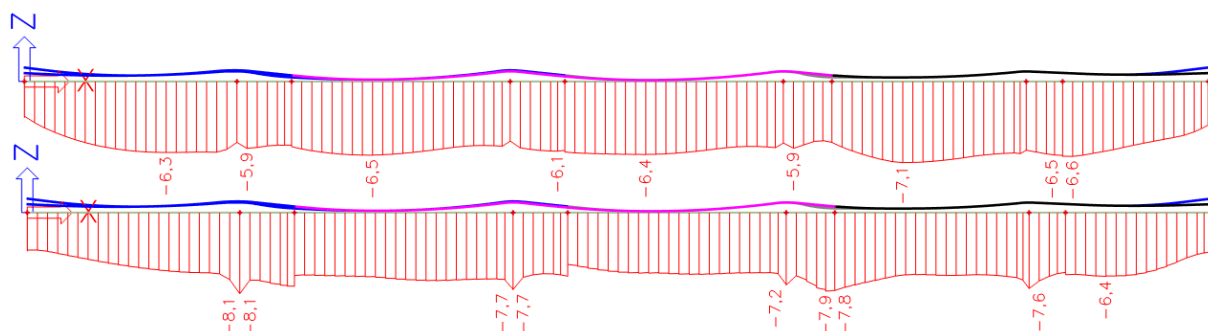
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	0,4	dolní	3.pole	vyhoví
σ_{lim}^-	X (30)	-7,3	dolní	4.podpora	vyhoví

Tabulka 36 V II: POSOUZENÍ MSP – KŽ ČAST

Charakteristická kombinace



Obrázek 141 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)



Obrázek 142 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	X (2,9)	1,1	dolní	2,3.pole	vyhoví
σ_{lim}^-	-18	-8,1	dolní	2. podpora	vyhoví

Tabulka 37 V II: POSOUZENÍ MSP – KŽ CHAR

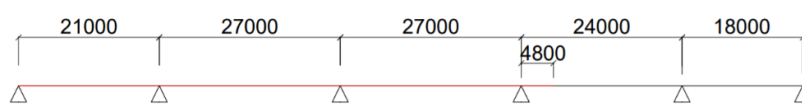
KONSTRUKCE S NAVRŽENÝM PŘEDPĚTÍM ČÍSLO 5 VYHOVÍ.

11 VARIANTA III: KONSTRUKCE PŘEDPÍNANÁ PO DVOU ČÁSTECH

V této práci jsme si do této chvíle vyzkoušeli předepnout konstrukci v celku i po jednotlivých polích. Ve třetí a poslední variantě vybetonujeme a předepneme konstrukci ve dvou úsecích. Zkombinujeme tak skupiny kabelů vedených přes celou konstrukci s kabely předepnutými v částech.

11.1 Model konstrukce

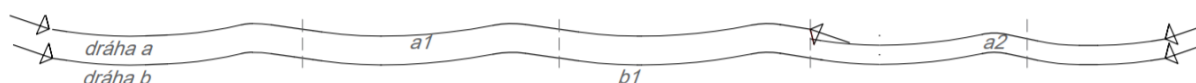
Pracovní spáru umístíme do pětiny čtvrtého pole. Máme tak možnost kabel v první fázi *Předepnutí I* napnout z obou konců, což by mělo být výhodné pro prostření (třetí) pole.



Obrázek 143 V III: Umístění spáry

Předpětí a konstrukční zásady

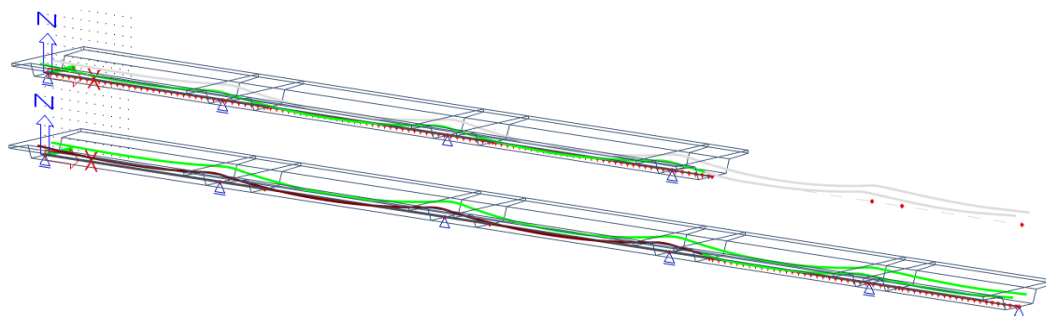
Opět povedeme dvě dráhy (alespoň) v prvních návrzích. V pracovní spáře můžeme spojovat jen polovinu kabelů. Napínání bude prováděno v první fázi *Předepnutí I* z obou konců, v druhé fázi *Předepnutí II* bude jeden kabel napínáný z konce, druhý zase z obou svých konců.



Obrázek 144 V III Dráhy kabelů

Konstrukční zásady platí stále stejné, připomeneme tedy minimální osové vzdálenosti 550 mm u kabelů s 22 lany, 520 mm u kabelů s 19 lany.

Zatěžovací stavy a fáze výstavby



Obrázek 145 V III: Schéma výstavby

Časová osa fází

Fáze výstavby	Čas [den]
Bednění I. Fáze	0
Předepnutí I. Fáze	7
Bednění II. Fáze	28
Předepnutí II. Fáze	35
Ostatní prvky (ost. st.)	58
Dokončená stavba DK	58,1
Uvedení do provozu UP	78
UP charakteristická k. UP častá k. UP kvazistálá k.	cca 100
KZ charakteristická k. KZ častá k. KZ kvazistálá k.	cca 36 500

Obrázek 146 V III: Harmonogram výstavby

11.2 Sledování konstrukce

Mezní hodnoty napětí jsou stejné jako v předchozí variantách včetně podmínky ve spáře.

			Podmínky			
			konstrukce		spára	
			Tah	Tlak	Tah	Tlak
			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
S t a v b a	Předpětí I, Předpětí II	pole 1,2,3	2,37	13,27	1	13,27
		pole 4,5	2,37	13,27	1	13,27
		pole 1,2,3	2,9	18	1	18
		celá kce	2,9	18	0	18
Vnesení ost. st.						
P r o v o z						
Kvazistálá	UP	celá kce	0	13,5	0	13,5
kombinace	KZ	celá kce	0	13,5	0	13,5
Častá	UP	celá kce	0	-	0	-
kombinace	KZ	celá kce	0	-	0	-
Charakter.	UP	celá kce	2,9	18	0	18
kombinace	KZ	celá kce	2,9	18	0	18

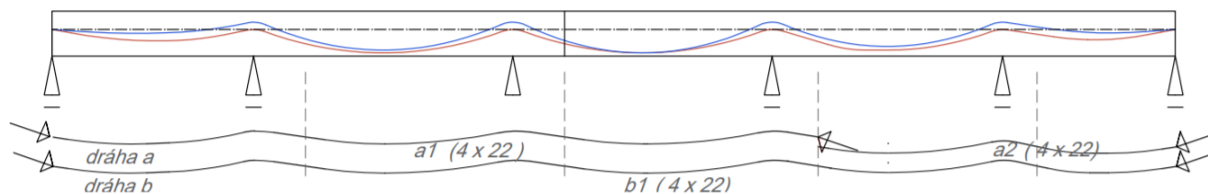
Tabulka 38 V III: Podmínky pro výstavbu a provoz pro MSP

11.3 Chování konstrukce s navrhovaným předpětím

11.3.1 Návrh 1

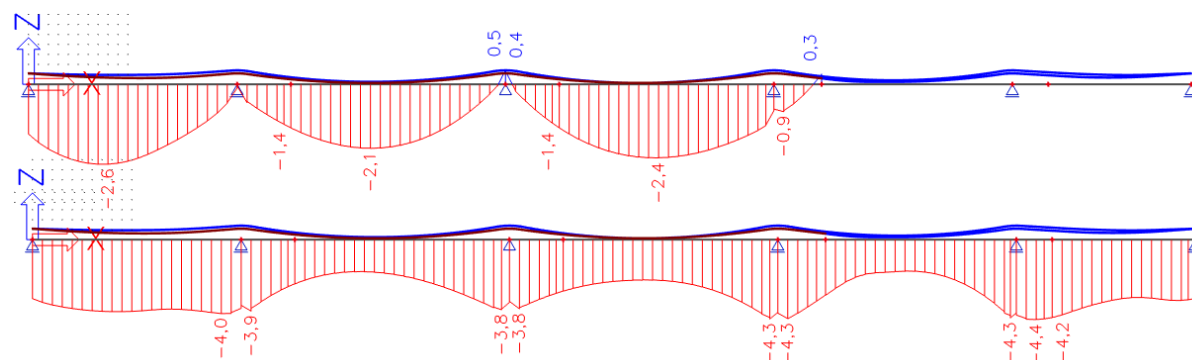
V tomto návrhu už nezačneme se stejným počtem kabelů, který jsme navrhli dle metody vyrovnání zatížení. Místo 6 kabelů po 19 lanech položíme 8 kabelů po 22. V obou předchozích

variantách jsme museli značně snižovat nadpodporové excentricity, proto je zde rovnou namodelujeme menší.

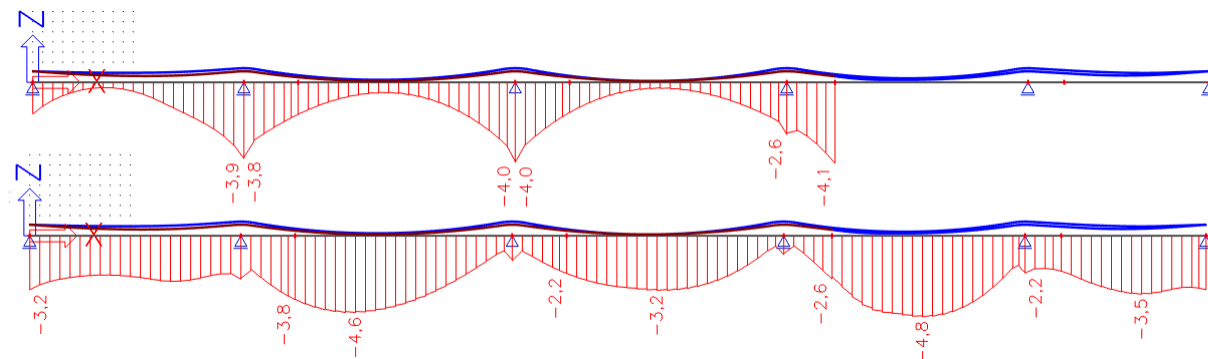


Obrázek 147 V III N1: Schéma kabelů

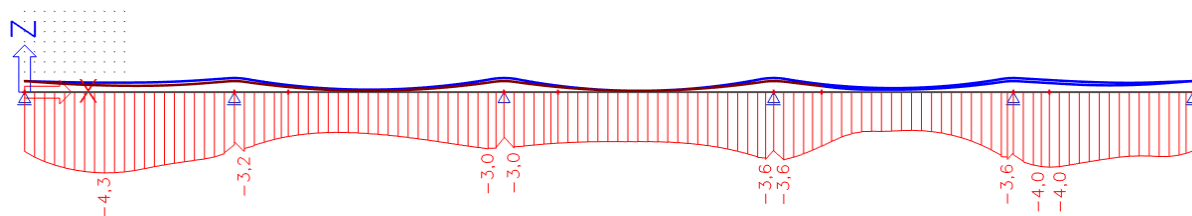
Sledování konstrukce - stavba



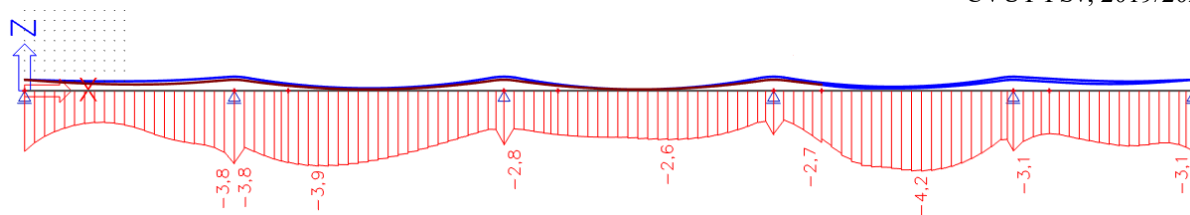
Obrázek 148 VIII N1: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)



Obrázek 149 V III N1: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)

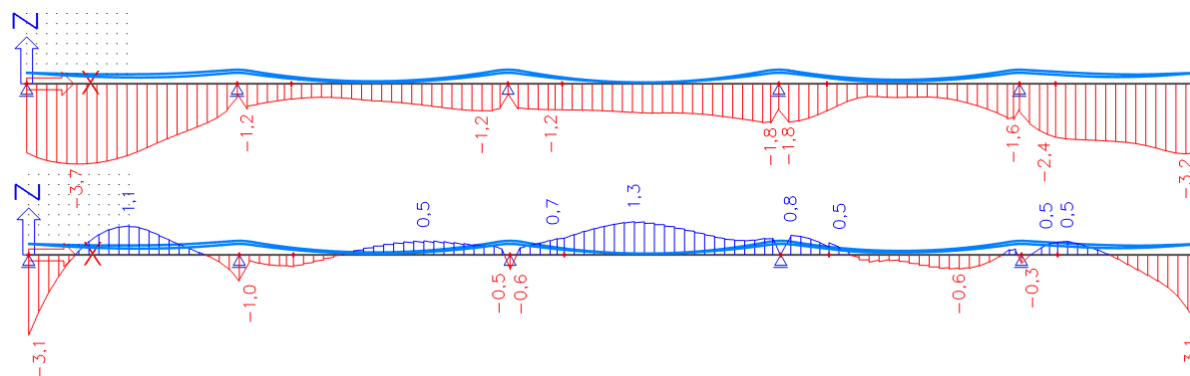


Obrázek 150 V III N1: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



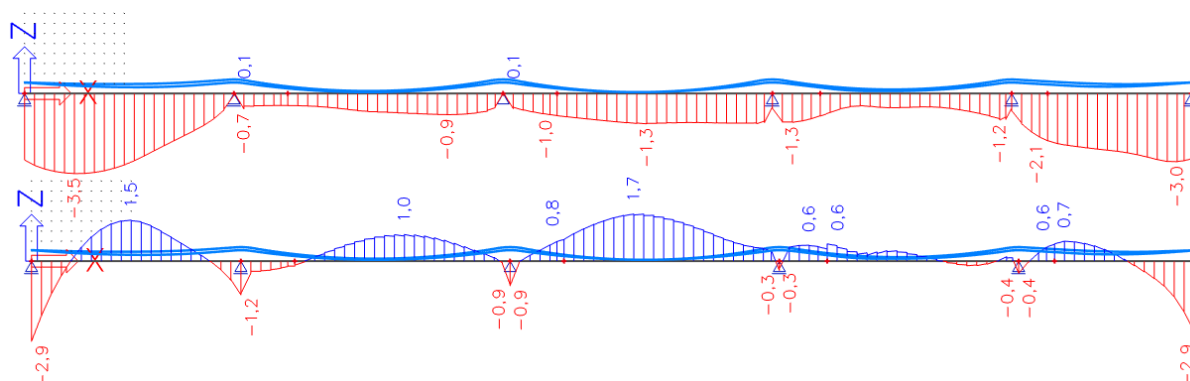
Obrázek 151 V III N1: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

Sledování konstrukce – uvedení do provozu



Obrázek 152 V III N1; UP ČAST – Max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Sledování konstrukce – konec životnosti konstrukce



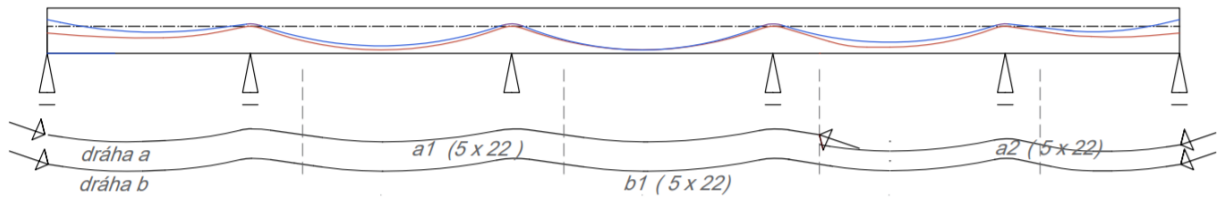
Obrázek 153 V III N1; KŽ ČAST – Max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Konstrukce ve fázích výstavby vyhoví, nicméně je klasický problém u časté kombinace zatížení. Vzhledem k poměrům tahových napětí v polích snížíme excentricity ve druhém i čtvrtém poli, a u celého kabelu všechny nadpodporové polohy kabelů. Samozřejmě navýšíme množství kabelů.

11.3.2 Návrh 2

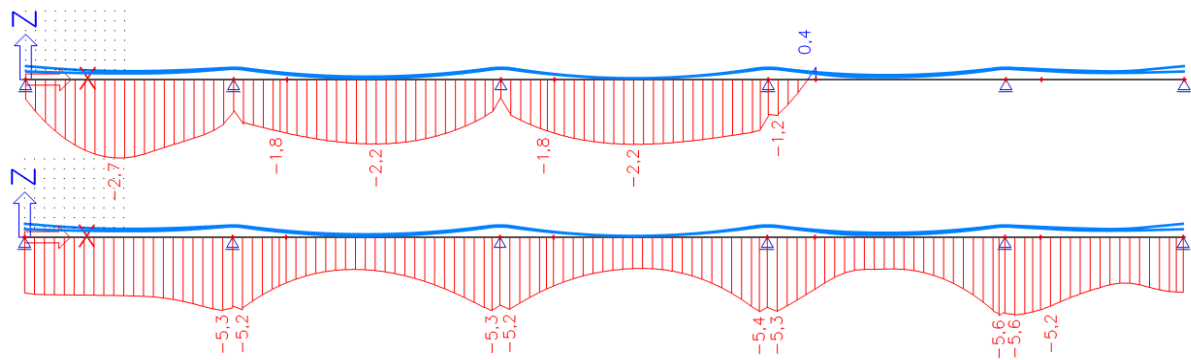
Vložíme do každé dráhy další kabel o 22 lanech. Do konstrukce přidáme tedy 44 lan. Nyní v ní máme celkem 220 lan. V celém kabelu snížíme excentricity o 200 mm nad podporami, ve druhém a čtvrtém poli o 50 mm, v krajních polích přidáme 100 mm. Jelikož už máme více jak

8 kabelů, musíme upravit polohy v krajních průřezech, abychom splňovali konstrukční zásady pro umístění kotvy. Tím se nám zase mírně změní vedení sil. Ve spáře musíme zajistit též místo pro kotvy.

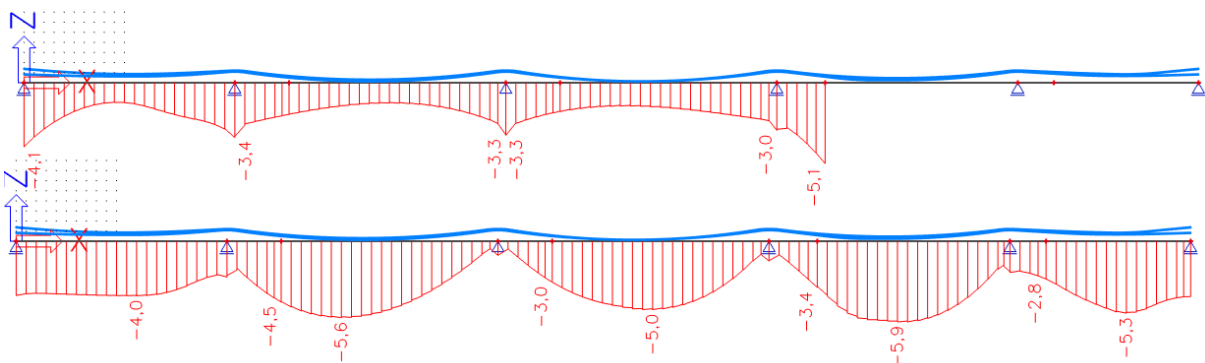


Obrázek 154 V III N2: Schéma kabelů

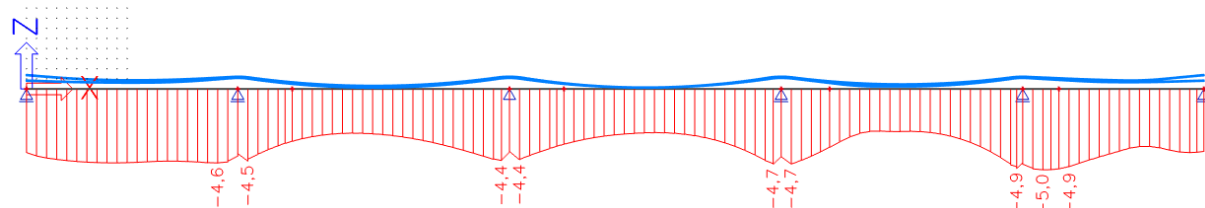
Sledování konstrukce - stavba



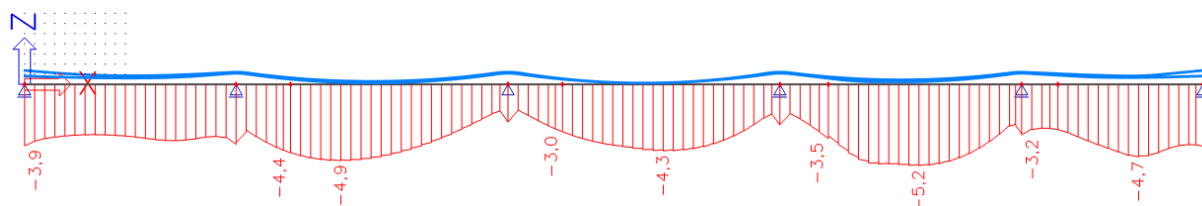
Obrázek 155 VIII N2: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)



Obrázek 156 V III N2: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)

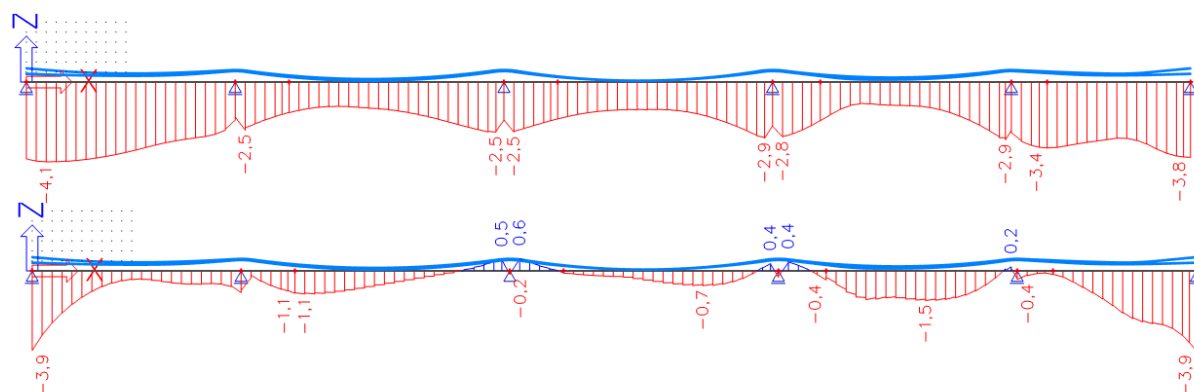


Obrázek 157V III N2: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)



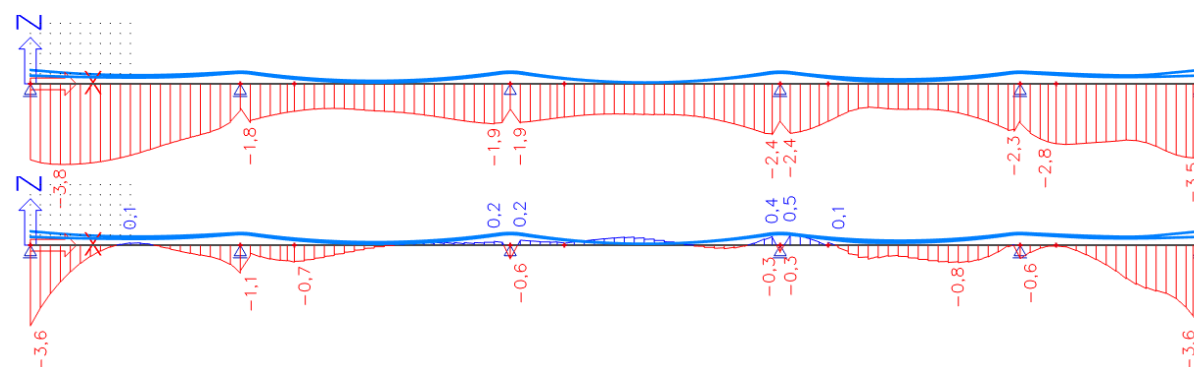
Obrázek 158 V III N2: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)

Sledování konstrukce – uvedení do provozu



Obrázek 159 V III N2; UP ČAST – Max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Sledování konstrukce – konec životnosti konstrukce



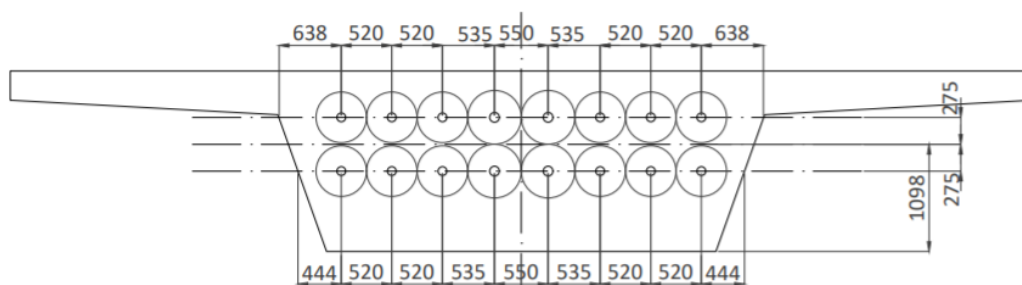
Obrázek 160 V III N2; KŽ ČAST – Max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)

Navržené předpětí během výstavby splňuje všechny podmínky. Maximální dovolený tah 1 MPa ve spáře jsme nepřekročili, dosáhli jsme pouze na 0,4 MPa po odbednění první části. Jinak se nám tahové napětí již nikde nevyskytlo.

Během provozu nám vznikají malé tahy nad středními podporami, které se na konci životnosti sníží, ale objevují se pro změnu mírné tahy v polích. Navyšování počtů by snad nemuselo být nutné vzhledem k tomu, že tahy v polích a nad podporami jsou přibližně v poměru 1:1. (Mluvíme klasicky o dolních vláknech.) V dalším návrhu nejspíš zpětně zvýšíme excentricity ve druhém poli – jemně – a snížíme excentricity nad třetí a čtvrtou podporou, lehce nad třetím polem.

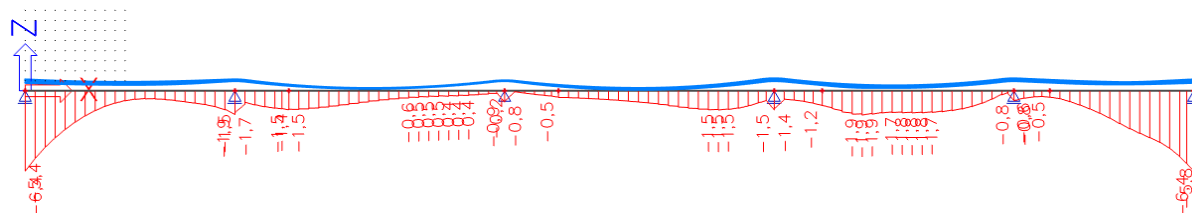
11.3.3 Návrh 3

Po celkem dlouhé době provádění jemných úprav – snižování excentricit nad podporami i v polích, zpětném zvyšování excentricit nad podporami i v polích se nám nakonec podařilo kabely vyladit. Celkově jsme však excentricity nad třetí a čtvrtou podporou snížili, poté navýšili množství výztuže, následně mírně snížili excentricity v polích, tím jsme konečně odstranili tahy kolem podpor. Navýšení množství výztuže, s kterým jsme však původně nepočítali, bylo nutné o 20 lan. Jinak se mi to bohužel nepodařilo doladit. Nyní konstrukcí vedeme v každé dráze celkem 6 kabelů, z toho 4 kabely po 19 lanech a dva kabely po 22.

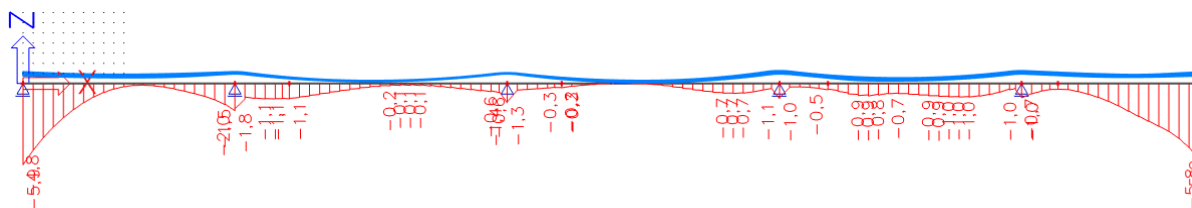


Obrázek 161 V III N3: Rozmístění kotev v krajním řezu

Sledování konstrukce v časté kombinaci



Obrázek 162 V III N3: Průběh tahových napětí v dolních vláknech při UP

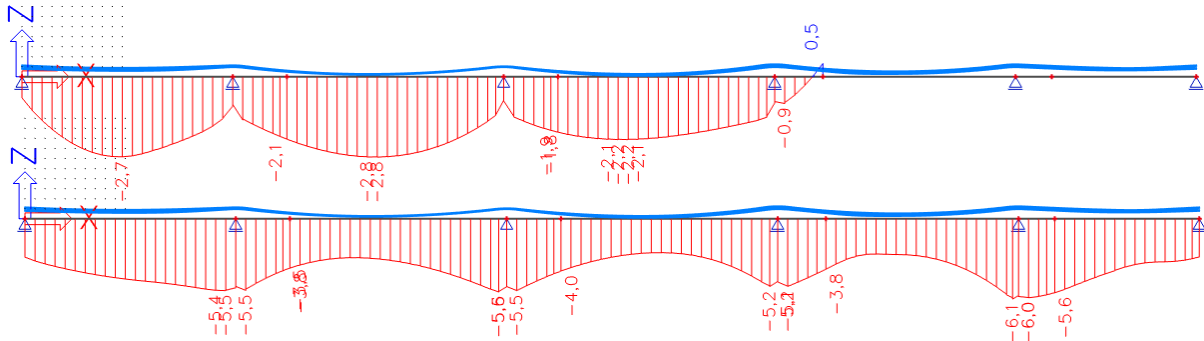


Obrázek 163 V III N3: Průběh tahových napětí v dolních vláknech při uvedení do provozu

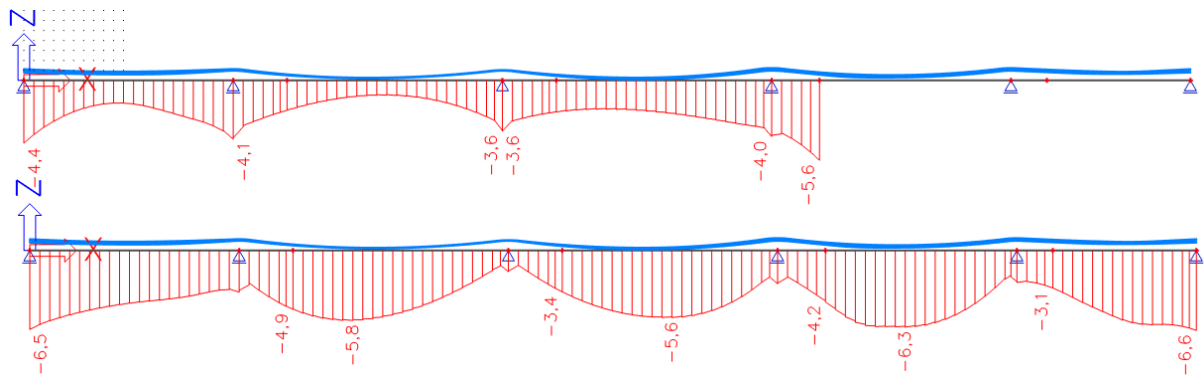
11.4 Posouzení MSP

11.4.1 Posouzení konstrukce MSP – výstavba

Předepnutí a odepnutí



Obrázek 164 V III: POSOUZENÍ MSP - Fáze výstavby – předepnutí a odbednění – horní vl. průřezu (MPa)

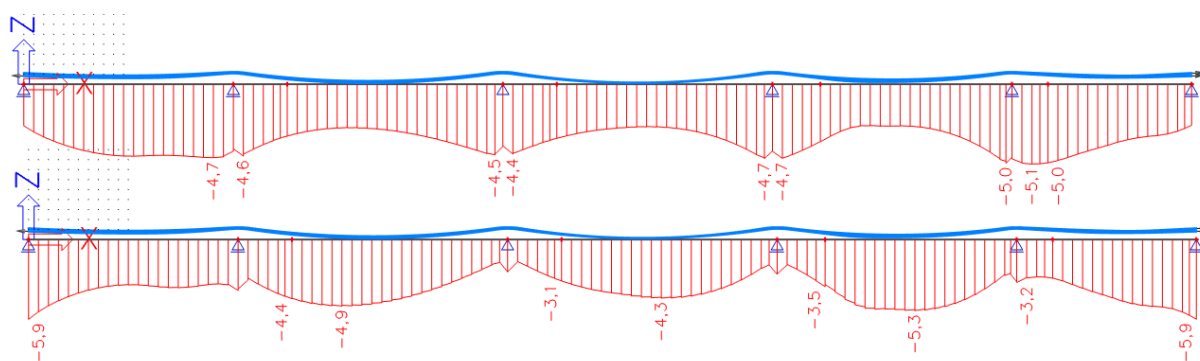


Obrázek 165 V III: POSOUZENÍ MSP - Fáze výstavby – předepnutí a odbednění – dolní vl. průřezu (MPa)

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	2,37 (2,9)	0,5	horní	Spára (4.pole)	Vyhoví
σ_{lim}^-	-13,27 (-18)	-6,6	dolní	6. podpora	Vyhoví

Tabulka 39 V III: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby

Dokončení stavby po vnesení ostatního stálého zatížení



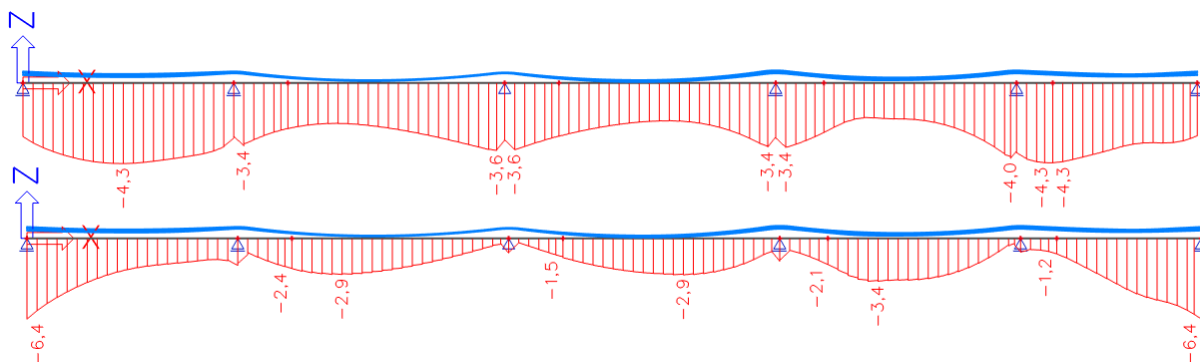
Obrázek 166 V III: POSOUZENÍ MSP - Fáze výstavby – dokončení stavby po vnesení ost.st.z. – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	2,9	nevzniká	-	-	vyhoví
σ_{lim}^-	-18	-5,9	dolní	Krajní podpory	Vyhoví

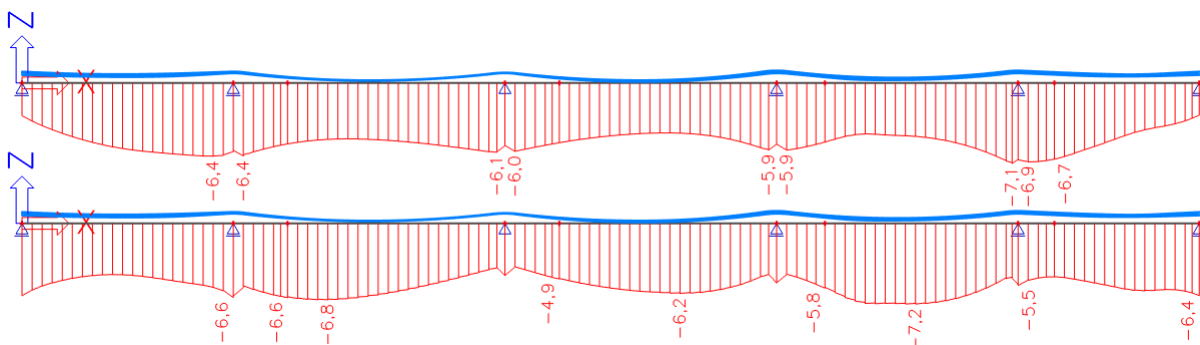
Tabulka 40 V III: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby

11.4.2 Posouzení konstrukce MSP – uvedení do provozu

Kvazistálá kombinace



Obrázek 167 V III: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

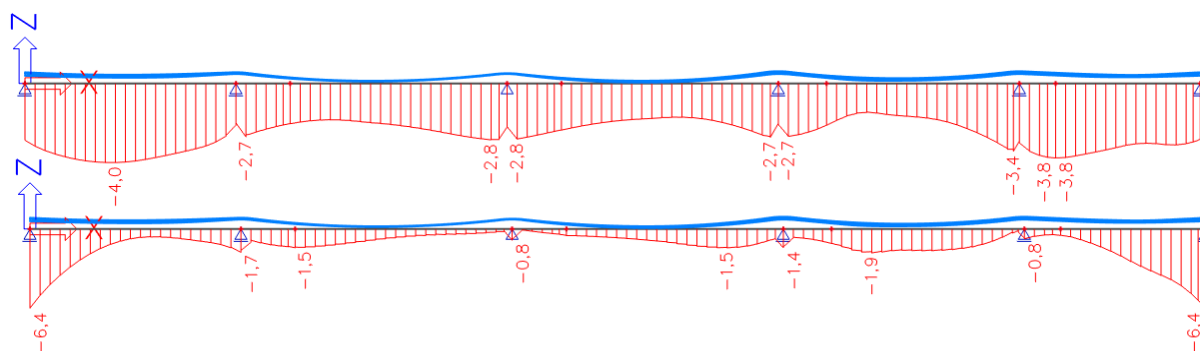


Obrázek 168 V III: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

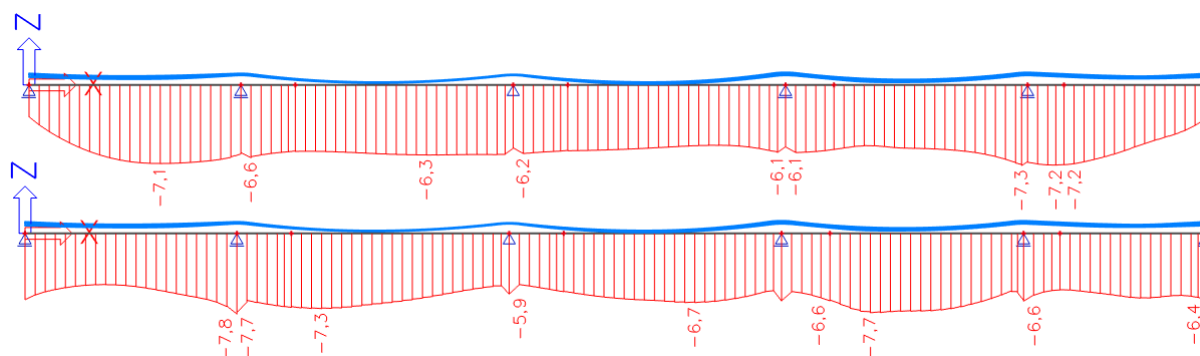
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	nevzniká	-	-	vyhoví
σ_{lim}^-	-13,5	-7,2	dolní	4. pole	Vyhoví

Tabulka 41 V III: POSOUZENÍ MSP – UP KVAZ

Častá kombinace



Obrázek 169 V III: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

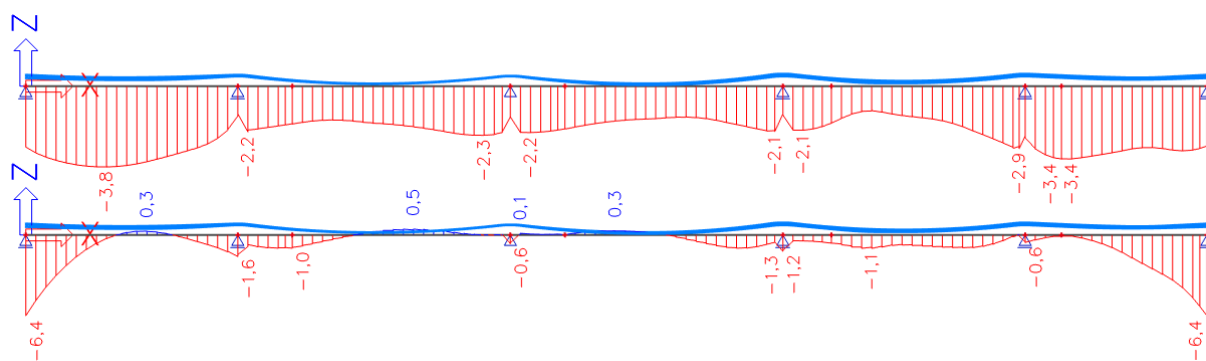


Obrázek 170 V III: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

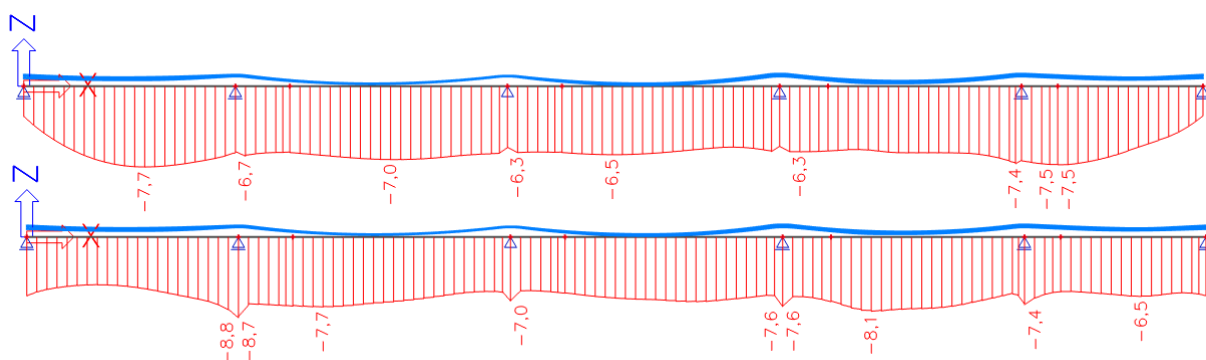
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	nevzniká	-	-	vyhoví
σ_{lim}^-	X (30)	-7,8	dolní	2.podpora	Vyhoví

Tabulka 42 V III: POSOUZENÍ MSP – UP ČAST

Charakteristická kombinace



Obrázek 171 V III: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)



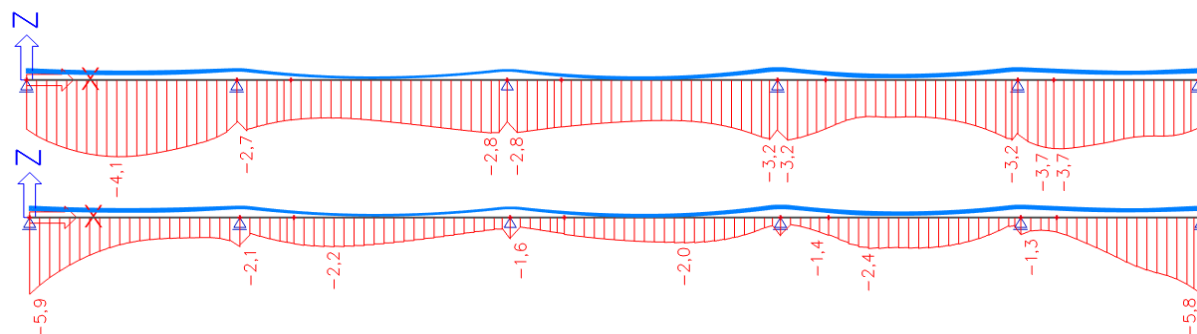
Obrázek 172 V III: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	X (2,9)	0,5	dolní	2.pole	Vyhoví
σ_{lim}^-	-18	-8,8	dolní	1.podpora	Vyhoví

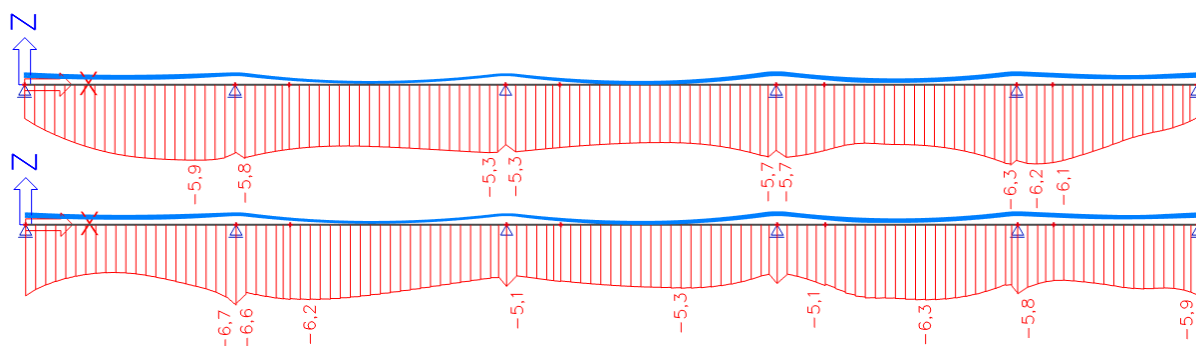
Tabulka 43 V III: POSOUZENÍ MSP – UP CHAR

11.4.3 Posouzení konstrukce MSP – konec životnosti

Kvazistálá kombinace



Obrázek 173 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

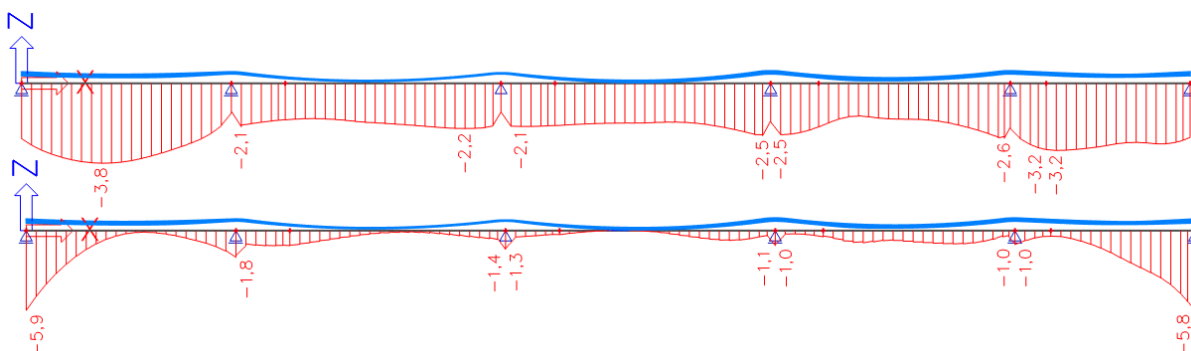


Obrázek 174 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

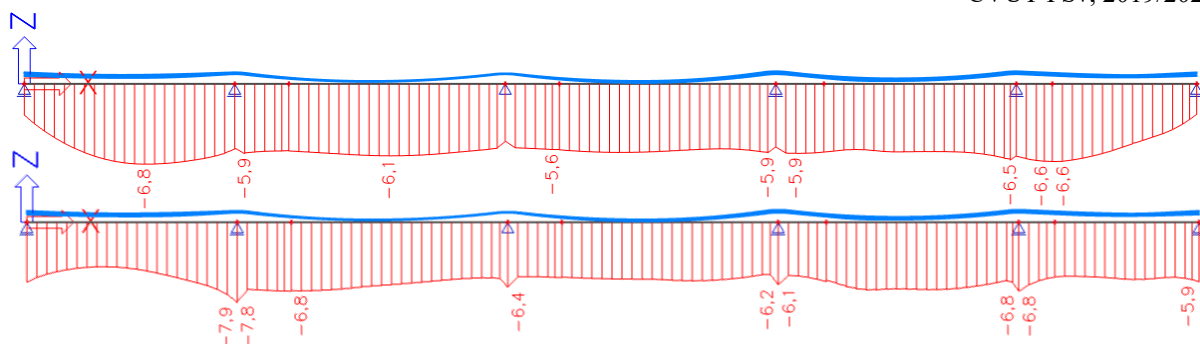
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	nevzniká	-	-	-
σ_{lim}^-	-13,5	-6,7	dolní	1. podpora	Vyhoví

Tabulka 44 V III: POSOUZENÍ MSP – KŽ KVAZ

Častá kombinace



Obrázek 175 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

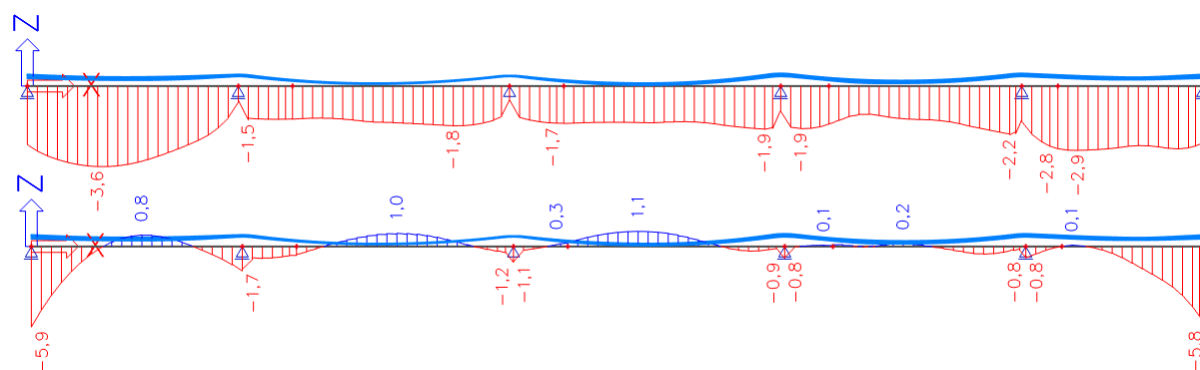


Obrázek 176 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

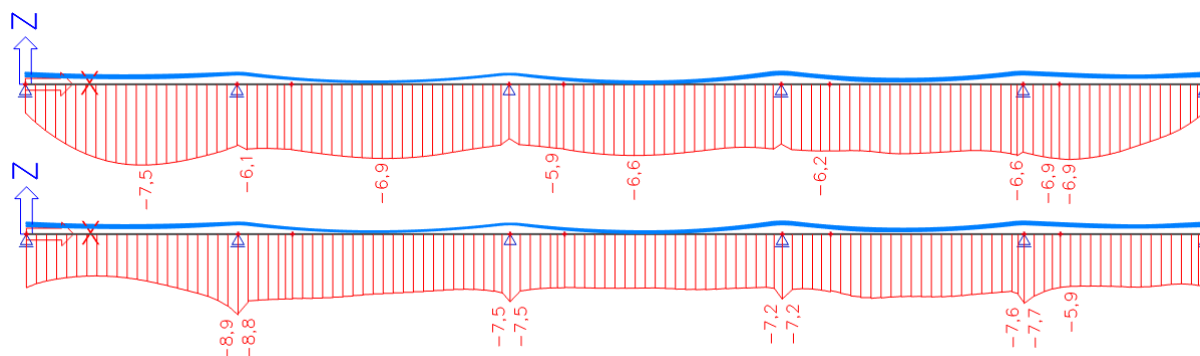
	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	0	0	dolní	3.pole	vyhoví
σ_{lim}^-	X (30)	-7,9	dolní	1.podpora	Vyhoví

Tabulka 45 V III: POSOUZENÍ MSP – KŽ ČAST

Charakteristická kombinace



Obrázek 177 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)



Obrázek 178 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)

	(MPa)	σ (MPa)	Vlákna průřezu	Poloha v konstrukci	Vyhoví/ nevyhoví
σ_{lim}^+	X (2,9)	1,1	dolní	3.pole	vyhoví
σ_{lim}^-	-18	-8,9	dolní	1.podpora	Vyhoví

Tabulka 46 V I: POSOUZENÍ MSP – KŽ CHAR

KONSTRUKCE S NAVRŽENÝM PŘEDPĚTÍM ČÍSLO 3 VYHOVÍ.

12 ZÁVĚR

Procentuální hodnoty jsou vztaženy k první variantě – předpnutí na celé skruži.

Porovnání množství výztuže a kotev:

		Celková délka Hmotnos kabelů t kabelů			Kotvy			
					aktivní	pasivní	celkem	
		[m]	[m]	[%]	[ks]	[ks]	[ks]	[%]
Varianta V I	Celá skruž	31014,77	36519,9	100	24	0	24	100
Varianta V II	Skruž po poli	28844,22	33964,1	93	36	36	72	300
Varianta V III	Skruž po dvou č.	29090,42	34254	93,8	30	6	36	150

Tabulka 47 Shrnutí variant

Porovnání celkové doby bednicího procesu, kdy je nutná přítomnost podpůrné skruže na stavbě (celková doba výstavby):

Varianta V I (celá skruž):	7,1 dne (30,1 dne při DK)	100% (100%)
Varianta V II (skruž po poli):	119,1 dne (142,1 dne při DK)	1 677% (472,1%)
Varianta V III (skruž po dvou částech: 35,1 dne (58,1 dne při DK)		500% (193,7%)

Poznámka!: Hodnoty časových intervalů mohou být oproti reálu zkreslené, nicméně jsou plně dodrženy požadavky zohledňující nutnou tuhost betonu. Předepnutí bylo provedeno vždy 7 dní po vybetonování části, což je správně. Všechny varianty vycházejí ze stejných zásad, které jsme si stanovili v úvodu práce. Nicméně stanovení podmínky, že následná betonáž bude prováděna až po 28 dnech po betonáži předcházející, může značně zkreslovat výsledné hodnoty u II.varianty- skruže po poli. Na druhou stranu lze také uvažovat nájem skruže pouze v potřebných dnech. Tím se u varianty II dostaneme celkově na 35 dní, u varianty III na 14 dní.

Porovnání potřebné délky podpůrné skruže na stavbě:

Varianta V I (celá skruž):	cca 117 m/den	100%
Varianta V II (skruž po poli):	cca 26,4 m/den	22,6%
Varianta V III (skruž po dvou částech: 35,1 dne (58,1 dne při DK)	cca 79,8 m/den	68,2%

Z uvedených výsledků pozorujeme, že způsob použití pevné skruže nemá zásadní vliv na množství výztuže jako na počet kotvicího systému, doby výstavby a potřebného množství podpůrné konstrukce.

Z hlediska celkové spotřeby předpínacího systému včetně počtu použitých nastřelovací pistole vychází nejpriznivěji výsledky u varianty I, tedy celé skruže. Naopak varianta se skruží po poli se zdá být nevhodná, neboť se použije až trojnásobný počet kotev oproti pouhému snížení

množství výztuže o 7 %. Polemizovat bychom mohli nad volbou mezi variantou III s variantou I. Je zajímavé, že pouze s jedním rozdělením konstrukce při bednění jsme se s množstvím výztuže tolik přiblížili k druhé variantě- bednění po poli, kdy je konstrukce rozdělená na pět úseků. (Roli ve třetí variantě hraje velké množství kabelů napínaných z obou konců.)

Podívejme se na časový harmonogram a množství skruže na stavbě. Skruž musí být v každé variantě přítomná po celou dobu předpínacích fází, avšak v době přestávky skruží na stavbě může i nemusí být. Je třeba zohlednit počet dovozů a odvozů skruže s ohledem na počet fází betonování.

U *varianty I* tedy po dobu 7 dnů musíme mít k dispozici 117 m skruže. Převědeme-li na jakési jednotky „m skruže/den“, celkově tak pro stavbu *varianty I* potřebujeme $7 \times 117 = 819$ m podpurných konstrukcí.

U *varianty II* pak vychází celková potřeba přítomné skruže $119 \times 26,4 = 3\,141,6$ m, v případě nájmu skruže pouze na aktivní dny pak 819 m. Podpurné části by však tak bylo nutné celkem 10x dovézt nebo odvézt.

Variantu III vyhodnotíme podobným způsobem. $35 \times 79,8 = 2\,793$ m, respektive 819 dní. Dovoz či odvoz včetně naložení skruže by muselo být provedeno 4 krát.

Varianta V I (celá skruž):	cca 819 m + 2 jízdy	100%
Varianta V II (skruž po poli):	cca 3 141,6 m	383,5% (resp. 819 m+ 10 jízd)
Varianta V III (skruž po dvou č.):	cca 2 793 m	341 % (resp. 819 m + 4 jízdy)

S ohledem na výše popsané výsledky bych pro tuto konstrukci volila jednoznačně variantu I. Betonování najednou je nejrychlejší, nejekonomičtější pro manipulaci se skruží. V množství předpínacích lan se neliší od zbylých variant více jak o 7 % a pro množství kotev vychází opět nejvýhodněji.

Celkově jsou výsledky pro mě překvapující, neboť jsem počítala s větším rozdílem navržené výztuže mezi variantou celé skruže a skruží po poli. Zásadními rozdíly v jednotlivých návrzích byly především ohledy na průběhy a vývoj ztrát předpětí a konstrukční zásady, které v některých částech konstrukce výrazně usměrňovaly návrh vedení výztuže- ne vždy tak, jak bychom potřebovali. Ve všech variantách byla nejproblematictější střední část konstrukce, a to pro střední pole a k němu sousedící vnitřní podpory. Zde jsme poměrně dlouho vyladřovali drobné nedostatky tlaku v polích s tahy kolem podpor. Problém byl také možná v přísné

podmínce námi stanovené, a to nulové tahy pro častou kombinaci v celém průřezu. Musíme si uvědomit, že při této kombinaci působí nemalé účinky od dopravy v polích (dolních vláken), nemalé účinky od teploty po celé délce konstrukce včetně podporových oblastí.! U mostů středních rozpětí mohou být účinky od proměnných zatížení srovnatelné s účinky od vlastní tíhy a co především, mohou působit proti ní. To by tak nevadilo, ovšem primární myšlenkou předpětí je vyrovnaní zatížení od vlastní tíhy konstrukce. To nám způsobovalo jakési komplikace ve vyladění tvaru kabelů. Do poslední chvíle jsem se pokoušela využít excentricity kabelů pro účinky v polích, avšak, jak jsme viděli, nešlo to.

Pro návrh mostů středních rozpětí je potřeba zřejmě pečlivěji zvážit podmínky pro MSP a případně respektovat dovozená tahová namáhání vzhledem k faktu poměrně široké obálky hodnot od zatížení.

V našem zadání byly rozměry průřezu zadány jako konstantní po celé délce mostu. Pokud bychom však stáli o ekonomičtější návrh, bylo by vhodné zvážit proměnný průřez. Mírné zmenšení průřezu v poli by v dolních vláknech způsobilo větší poměr nadpodporových tlaků ku tahům v polích. Větší tlakové namáhání v oblastech podpor je více roznášeno do polí, což je také příznivé pro postupné betonování s ohledem na konstrukční zásady.

13 ZDROJE

Zdroje obrázků

- [1] *Úvod | Časopis BETON - technologie, konstrukce, sanace (BETON TKS)* [online]. Copyright © [cit. 05.01.2020]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-4-54.pdf>
- [2] W&F From 1910. [online]. Copyright © [cit. 05.01.2020]. Dostupné z: <https://www.wf-ib.de/en/about-us/history/from-1910/>
- [3] *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © 1998 [cit. 05.01.2020]. Dostupné z: <https://structurae.net/en/structures/brucke-hesseler-weg>
- [4] Mostní stavby na Silničním okruhu kolem Prahy – úseku 513 Vestec – Lahovice. *Časopis SILNICE ŽELEZNICE - Rozvoj dopravní infrastruktury v České republice, na Slovensku i ve světě, moderní trendy, stavební postupy, používané materiály a technologie.* [online]. Copyright © Copyright 2002 [cit. 05.01.2020]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/mostni-stavby-na-silnicnim-okruhu-kolem-prahy-useku-513-vestec-lahovice/>
- [5] Pasivní soudržné kotvení typu G - (cibulová kotva) | FREYSSINET CS, a.s.. *FREYSSINET CS, a.s.* [online]. Copyright © FREYSSINET CS a.s., Všechna práva vyhrazena. [cit. 05.01.2020]. Dostupné z: <http://www.freyssinet.cz/169-pasivni-soudrzne-kotveni-typu-g-cibulova-kotva>
- [6] Mário Lenčేశ [online]. Copyright © [cit. 05.01.2020]. Dostupné z: http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/-%20-%20P%C5%99edm%C4%9Bty%20dle%20semestru%20-%20-%20-%2010-semester/-%20CL02%20-%20Betonov%C3%A9%20mosty%20II/Strasky_Jiri_-Betonove_mosty_ver2.0_%28OCR%29.pdf
- [7] SUCHÁNEK, Vladimír, POKORNÝ Jiří . *Betonové mosty II.* Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Dostupné také z: http://vladimirsuchanek.upce.cz/files/Betonove_mosty_2.pdf
- [8] Dálnice D1 Hubová – Ivachnová SO 214, most na D1 v km 9,814 – 10,498. *Časopis SILNICE ŽELEZNICE - Rozvoj dopravní infrastruktury v České republice, na Slovensku i ve světě, moderní trendy, stavební postupy, používané materiály a technologie*

- [9] Z HISTORIE: Výstavba mostu přes Křižíkovu (1954) | Negrelliho viadukt. *Negrelliho viadukt* | *Negrelliho viadukt* [online]. Dostupné z: <http://www.rekonstrukce-negrelliho-viaduktu.cz/2018/11/12/z-historie-vystavba-mostu-pres-krizikovu-1954/>
- [18] Most na I/37 Březhrad – Opatovice SO 201, Most přes Opatovický kanál v km 1,624 | Tvstav.cz. *Tvstav.cz* [online]. Copyright © 2010 [cit. 06.01.2020]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/1766-most-na-i-37-brezhrad-opatovice-so-201-most-pres-opatovicky-kanal-v-km-1624>

Internetové zdroje

- [6] Mário Lenčేశ [online]. Copyright © [cit. 05.01.2020]. Dostupné z: http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/-%20-%20P%C5%99edm%C4%9Bty%20dle%20semestru%20-%20-/10-semester/-%20CL02%20-%20Betonov%C3%A9%20mosty%20II/Strasky_Jiri_-_Betonove_mosty_ver2.0_%28OCR%29.pdf
- [9] Z HISTORIE: Výstavba mostu přes Křižíkovu (1954) | Negrelliho viadukt. *Negrelliho viadukt* | *Negrelliho viadukt* [online]. Dostupné z: <http://www.rekonstrukce-negrelliho-viaduktu.cz/2018/11/12/z-historie-vystavba-mostu-pres-krizikovu-1954/>

Použitá literatura

- [10] NAVRÁTIL, Jaroslav. Předpjaté betobové konstrukce vyd. Akademické nakladatelství Cerm,
- [11] Prof. Ing. Jiří Stráský, DSc., Ing. Radim Nečas, Ph.D. Betonové mosty II, modul M01: Technologie výstavby mostů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007.
- [12] Ing. Roman Šafář, Ph.D. a kolektiv, 2009. Návrh předpjátého mostu podle Eurokódů, Cvičení. Praha: Česká technika. ISBN 978 – 80 – 01 – 04433 – 9

Normy a předpisy

[13] ČSN EN 1991-1-1; Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004.

[14] ČSN EN 1991-2 ed 2; Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou. Praha: Český normalizační institut, 2015.

[15] ČSN EN 1991-1-5; Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou. Praha: Český normalizační institut, 2005.

[16] ČSN EN 1991-2:2005. (ČSN 73 6203) Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí* – Část 2: *Zatížení mostů dopravou*. Praha: Český normalizační institut 152s.

[17] ČSN EN 1990 ed. 2: 2015 (73 0002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

Mapy a ostatní zdroje

[19] Mapy Google . *Google* [online]. Dostupné

z: <https://www.google.cz/maps/@49.6151927,17.8087374,383m/data=!3m1!1e3>

[20] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. Dostupné

z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.9033965&y=49.6304580&z=11&source=muni&id=85>

14 Seznam obrázků

Obrázek 1 R: První trámový most Hesseler Weg, 1938, Vestfálsko – detail předpjatých nosníků, [2]	12
Obrázek 2 R: První trámový most Hesseler Weg, 1938, Vestfálsko – dnes [3]	12
Obrázek 3 Negrelliho viadukt - nosník před předepnutím, vedle něho autor projektu Ing. Pavel Svoboda (vpravo)[]	13
Obrázek 4 Porovnání výroby předem (vlevo) a dodatečně předpjatého prefabrikovaného dílce[7]	14
Obrázek 5 R: Montáž letmo, použití předpínací tyče [7]	15
Obrázek 6 R: Montáž letmo, délky zavázacích mostů [7]	16
Obrázek 7 Schéma přerozdělování vnitřních sil od vlastní tíhy při postupně budované konstrukci	17
Obrázek 8 Vývoj vedení kabelů ve spáře [6]	18
Obrázek 9 R: Příklad použití podpůrných stojek pevné skruže [4]	19
Obrázek 10 R: Ukázka cibulové - mrtvé kotvy předpínací výztuže [5]	19
Obrázek 11 Ukázka možnosti napínání	19
Obrázek 12 Výsuvná skruž - a) uložení pod mostovkou; b) uložení nad mostovkou [7]	20
Obrázek 13 R: Ukázka použití posuvné skruže pod mostovkou[8]	21
Obrázek 14 R: Ukázka použití posuvné skruže nad mostovkou[18]	21
Obrázek 15 Inspirace skutečností [19]	23
Obrázek 16 Poloha skutečného dálničního nadjezdu [19]	23
Obrázek 17 Inspirace skutečností – detail [19]	24
Obrázek 18 Podklady - Schéma půdorysu	24
Obrázek 19: Podklady - podélné schéma konstrukce	24
Obrázek 20 Průřez	25
Obrázek 21 Průřez rozdělený na části pro ruční výpočet těžiště	25
Obrázek 22 Výpočet spolupůsobící šířky	26
Obrázek 23: Schéma ostatního stálého zatížení	32
Obrázek 24 Schéma zatížení LM1 [16]	34
Obrázek 25 Dop_Char-zatížení dopravou- obálka M_y (kNm)	35
Obrázek 26 Dop_Fre - zatížení dopravou - obálka M_y (kNm)	35
Obrázek 27 Tahová namáhání ve spodních vláknech průřezu od zatížení (MPa)	36
Obrázek 28 Tlaková namáhání ve spodních vláknech průřezu od zatížení (MPa)	36

Obrázek 29 Tahová namáhání v horních vláknech průřezu od zatížení (MPa)	37
Obrázek 30 Tlaková namáhání v horních vláknech průřezu od zatížení (MPa)	37
Obrázek 31 Metoda vyrovnání zatížení - návrh pro 3. pole	40
Obrázek 32: Schéma tvaru předběžného ideálního kabelu	41
Obrázek 33 V I: Model konstrukce	42
Obrázek 34 V I: Betonování mostu	43
Obrázek 35 V I: Předepnutí mostu	44
Obrázek 36 V I: Odbednění	44
Obrázek 37 Obálka tahových napětí od časté kombinace zatížení bez uvažování tíhy konstrukce a tíhy konstrukčních prvků (MPa)	45
Obrázek 38 V I N1: Schéma kabelů	47
Obrázek 39 V I N1: Napětí v horních vláknech po odbednění (MPa)	47
Obrázek 40 V I N1: Napětí v dolních vláknech po odbednění (MPa)	47
Obrázek 41 VI N1: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa) .	47
Obrázek 42 VI N1: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa) .	47
Obrázek 43 V I N1: Ztráty napětí v předběžném ideálním kabelu	48
Obrázek 44 VI N1: Normálová složka od předpětí (kN)	49
Obrázek 45 V I N1: Ohybové momenty a jeho složky (První obrázek = výslednice složek M_y ; druhý obrázek = primární složka M_y ; třetí obrázek = sekundární složky M_y) (kNm)	49
Obrázek 46 V I N2: rozložení kabelů v místě kotvení, 9 x 19 lan	50
Obrázek 47 V I N2: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	50
Obrázek 48 V I N2: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	50
Obrázek 49 V I N2: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)	51
Obrázek 50 V I N2: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)	51
Obrázek 51 VI N3: Speciální kabel 1 pro pole 3	52
Obrázek 52 VI N3: Ztráty předpětí ve speciálním kabelu 1	52
Obrázek 53 V I N3: Speciální kabel 1 - Ohybové momenty a jeho složky (První obrázek = výslednice složek M_y ; druhý obrázek = primární složka M_y ; třetí obrázek = sekundární složky M_y) (kNm)	53
Obrázek 54 V I N3: Speciální kabel 2 pro pole 3	53
Obrázek 55 V I N3: Ztráty předpětí speciálního kabelu 2	54

Obrázek 56 V I N3: Speciální kabel 2 - Ohybové momenty a jeho složky (První obrázek = výslednice složek M_y ; druhý obrázek = primární složka M_y ; třetí obrázek = sekundární složky M_y) (kNm)	54
Obrázek 57 V I N3: Speciální kabe 3 pro pole 3	54
Obrázek 58 V I N3: Ztráty předpětí speciálního kabelu 3	55
Obrázek 59 V I N3: Speciální kabel 3 - Ohybové momenty a jeho složky (První obrázek = výslednice složek M_y ; druhý obrázek = primární složka M_y ; třetí obrázek = sekundární složky M_y) (kNm)	55
Obrázek 60 V I N3: Hodnoty napětí v dolních vláknech od 57 lan speciálního kabelu	56
Obrázek 61 V I N3: Schéma kabelů.....	56
Obrázek 62 V I N3: Napětí v horních vláknech průřezu po odbednění (MPa).....	56
Obrázek 63 V I N3: Napětí v dolních vláknech průřezu po odbednění (MPa).....	57
Obrázek 64 VI N3: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa) .	57
Obrázek 65 VI N3: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa) .	57
Obrázek 66 V I N3: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)	57
Obrázek 67 V I N3: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)	58
Obrázek 68 V I N4: Schéma kabelů“	58
Obrázek 69 V I N4: Napětí v horních vláknech po odbednění (MPa).....	59
Obrázek 70 V I N4: Napětí v dolních vláknech po odbednění (MPa)	59
Obrázek 71 V I N4: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa) 59	
Obrázek 72 V I N4: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa) 59	
Obrázek 73 V I N4: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)	59
Obrázek 74 V I N4: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dodlních vláknech průřezu (MPa).....	60
Obrázek 75 V I N5: rozložení kabelů v místě kotvení, 9 x 19 lan	60
Obrázek 76 V I N5: Napětí v horních vláknech po odbednění (MPa).....	60
Obrázek 77 V I N5: Napětí v dolních vláknech po odbednění (MPa)	61
Obrázek 78 V I N5: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa) 61	
Obrázek 79 V I N5: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa) 61	
Obrázek 80 V I N5: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)	61

Obrázek 81 V I N5: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dodlních vláknech průřezu (MPa).....	62
Obrázek 82: Screen výsledků ze SCIA (KŽ ČAST)	62
Obrázek 83 V I: POSOUZENÍ MSP - Fáze výstavby – předeptnutí a odbednění – horní a dolní vl. průřezu (MPa)	63
Obrázek 84 V I: POSOUZENÍ MSP - Fáze výstavby – dokončení stavby po vnesení ost.st.z. – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)	63
Obrázek 85 V I: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	64
Obrázek 86 V I: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	64
Obrázek 87 V I: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	65
Obrázek 88 V I: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	65
Obrázek 89 V I: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	65
Obrázek 90 V I: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	66
Obrázek 91 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	66
Obrázek 92 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	66
Obrázek 93 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	67
Obrázek 94 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	67
Obrázek 95 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	68
Obrázek 96 V I: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	68
Obrázek 97 V II: Rozmístění spár.....	69
Obrázek 98 V II Dráhy kabelů	69
Obrázek 99 V II: Schéma výstavby.....	70

Obrázek 100 V II N1: Schéma kabelů	73
Obrázek 101 VII N1: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	73
Obrázek 102 V II N1: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	74
Obrázek 103V II N1: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	74
Obrázek 104 V II N1: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	74
Obrázek 105 V II N1; UP ČAST – Max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa).....	75
Obrázek 106 V II N1: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech (MPa)..	75
Obrázek 107 V II N1: Ztráty předpětí kabelu přes vnitřní pole	76
Obrázek 108 Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa)	77
Obrázek 109 V II N1: Porovnání N1 s N2 po posledním odbednění kce, napětí v dolních vláknech (MPa)	77
Obrázek 110 V II N2: Porovnání N1 s N2 po posledním odbednění kce, napětí v dolních vláknech (MPa)	78
Obrázek 111 V II N3: Schéma kabelů	78
Obrázek 112 V II N3: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	79
Obrázek 113 V II N3: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	79
Obrázek 114 V II N3: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	80
Obrázek 115 V II N3: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	80
Obrázek 116 V II N3: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa).....	80
Obrázek 117 V II N3: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa).....	81
Obrázek 118 V II N3: Ztráty předpětí v kabelu před vnitřní pole.....	81

Obrázek 119 V II N4: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	82
Obrázek 120 V II N4: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	82
Obrázek 121 V II N4: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	83
Obrázek 122 V II N4: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	83
Obrázek 123 V II N4: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa).....	83
Obrázek 124 V II N4: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa).....	83
Obrázek 125 V II N5: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	84
Obrázek 126 V II N4: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	85
Obrázek 127 V II N4: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	85
Obrázek 128 V II N5: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	85
Obrázek 129 V II N5: UP ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa).....	86
Obrázek 130 V II N5: KŽ ČAST - max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa).....	86
Obrázek 131 V II: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	87
Obrázek 132 V II: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	88
Obrázek 133 V II: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	88
Obrázek 134 V II: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	88
Obrázek 135 V II: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	89

Obrázek 136 V II: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	89
Obrázek 137 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	90
Obrázek 138 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	90
Obrázek 139 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	90
Obrázek 140 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	91
Obrázek 141 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	91
Obrázek 142 V II: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	91
Obrázek 143 V III: Umístění spáry	93
Obrázek 144 V III Dráhy kabelů.....	93
Obrázek 145 V III: Schéma výstavby	93
Obrázek 146 V III: Harmonogram výstavby.....	94
Obrázek 147 V III N1: Schéma kabelů	95
Obrázek 148 VIII N1: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	95
Obrázek 149 V III N1: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	95
Obrázek 150 V III N1: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	95
Obrázek 151 V III N1: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	96
Obrázek 152 V III N1; UP ČAST – Max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa).....	96
Obrázek 153 V III N1; KŽ ČAST – Max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa).....	96
Obrázek 154 V III N2: Schéma kabelů	97
Obrázek 155 VIII N2: Napětí v horních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	97

Obrázek 156 V III N2: Napětí v dolních vláknech po odbednění v jednotlivých fázích výstavby (MPa).....	97
Obrázek 157V III N2: Napětí v horních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	97
Obrázek 158 V III N2: Napětí v dolních vláknech po vnesení ostatního stálého zatížení (MPa)	98
Obrázek 159 V III N2; UP ČAST – Max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa).....	98
<i>Obrázek 160 V III N2; KŽ ČAST – Max tahové napětí v horních a dolních vláknech průřezu (MPa)</i>	<i>98</i>
Obrázek 161 V III N3: Rozmístění kotev v krajním řezu	99
Obrázek 162 V III N3: Průběh tahových napětí v dolních vláknech při UP	99
Obrázek 163 V III N3: Průběh tahových napětí v dolních vláknech při uvedení do provozu .	99
Obrázek 164 V III: POSOUZENÍ MSP - Fáze výstavby – předepnutí a odbednění – horní vl. průřezu (MPa)	100
Obrázek 165 V III: POSOUZENÍ MSP - Fáze výstavby – předepnutí a odbednění – dolní vl. průřezu (MPa)	100
Obrázek 166 V III: POSOUZENÍ MSP - Fáze výstavby – dokončení stavby po vnesení ost.st.z. – horní a dolní vlákna průřezu (MPa)	101
Obrázek 167 V III: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	101
Obrázek 168 V III: POSOUZENÍ MSP: UP KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	101
Obrázek 169 V III: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	102
Obrázek 170 V III: POSOUZENÍ MSP: UP ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	102
Obrázek 171 V III: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	103
Obrázek 172 V III: POSOUZENÍ MSP: UP CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	103
Obrázek 173 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	104

Obrázek 174 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ KVAZ – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	104
Obrázek 175 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	104
Obrázek 176 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ ČAST – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	105
Obrázek 177 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – max TAHOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	105
Obrázek 178 V III: POSOUZENÍ MSP: KŽ CHAR – min TLAKOVÁ NAPĚTÍ – horní a dolní vlákna průřezu (MPa).....	105

15 Seznam tabulek

Tabulka 1: Průřezové charakteristiky plného průřezu.....	25
Tabulka 2: Výpočet efektivních šířek průřezů v řezech.....	26
Tabulka 3: Průřezové charakteristiky v řezu 0,50.....	26
Tabulka 4: Průřezové charakteristiky v řezu 5.....	27
Tabulka 5: Průřezové charakteristiky v řezu 10.....	27
Tabulka 6: Průřezové charakteristiky v řezu 15.....	27
Tabulka 7: Průřezové charakteristiky v řezu 20.....	27
Tabulka 8: Průřezové charakteristiky v řezu 25.....	27
Tabulka 9: Průřezové charakteristiky v řezu 30.....	28
Tabulka 10: Průřezové charakteristiky v řezu 35.....	28
Tabulka 11: Průřezové charakteristiky v řezu 40.....	28
Tabulka 12: Průřezové charakteristiky v řezu 45.....	28
Tabulka 13: Přehled průřezových charakteristik ve všech řezech	29
Tabulka 14 Ostatní stálé zatížení v konstrukci.....	33
Tabulka 15 Zatížení dopravou LM1 - hodnoty	34
Tabulka 16 MSP - kombinační součinitelé	38
Tabulka 17: Hodnoty zatížení od ideálního předběžného kabelu dle metody vyrovnání zatížení	41
Tabulka 18 V I: Tabulka parametrů předpínacího kabelu.....	43
Tabulka 19 V I: Harmonogram výstavby.....	44

Tabulka 20 V I: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby	63
Tabulka 21 V I: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby	64
Tabulka 22 V I: POSOUZENÍ MSP – UP KVAZ	64
Tabulka 23 V I: POSOUZENÍ MSP – UP ČAST	65
Tabulka 24 V I: POSOUZENÍ MSP – UP CHAR	66
Tabulka 25 V I: POSOUZENÍ MSP – KŽ KVAZ	67
Tabulka 26 V I: POSOUZENÍ MSP – KŽ ČAST	67
Tabulka 27 V I: POSOUZENÍ MSP – KŽ CHAR	68
Tabulka 28 V II: Harmonogram výstavby	71
Tabulka 29 V II: Podmínky pro výstavbu a provoz pro MSP	72
Tabulka 30 V II: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby	87
Tabulka 31 V II: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby	87
Tabulka 32 V II: POSOUZENÍ MSP – UP KVAZ	88
Tabulka 33 V II: POSOUZENÍ MSP – UP ČAST	89
Tabulka 34 V II: POSOUZENÍ MSP – UP CHAR	89
Tabulka 35 V II: POSOUZENÍ MSP – KŽ KVAZ	90
Tabulka 36 V II: POSOUZENÍ MSP – KŽ ČAST	91
Tabulka 37 V II: POSOUZENÍ MSP – KŽ CHAR	92
Tabulka 38 V III: Podmínky pro výstavbu a provoz pro MSP	94
Tabulka 39 V III: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby	100
Tabulka 40 V III: POSOUZENÍ MSP - fáze výstavby	101
Tabulka 41 V III: POSOUZENÍ MSP – UP KVAZ	102
Tabulka 42 V III: POSOUZENÍ MSP – UP ČAST	102
Tabulka 43 V III: POSOUZENÍ MSP – UP CHAR	103
Tabulka 44 V III: POSOUZENÍ MSP – KŽ KVAZ	104
Tabulka 45 V III: POSOUZENÍ MSP – KŽ ČAST	105
Tabulka 46 V I: POSOUZENÍ MSP – KŽ CHAR	106
Tabulka 47 Shrnutí variant	107

16 Přílohy

Výkresy